

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Informática



Visualização de Informação em Ambientes Móveis

Doutoramento em Informática – Especialidade de Engenharia Informática

Paulo Miguel Ciríaco Pinheiro Pombinho de Matos

Tese orientada pela Professora Doutora Ana Paula Pereira Afonso e Professora Doutora Maria Beatriz Duarte Pereira do Carmo

2015

Documento especialmente elaborado para a obtenção do grau de doutor

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Informática



Visualização de Informação em Ambientes Móveis

Doutoramento em Informática – Especialidade de Engenharia Informática

Paulo Miguel Ciríaco Pinheiro Pombinho de Matos

Tese orientada pela Professora Doutora Ana Paula Pereira Afonso e Professora Doutora Maria Beatriz Duarte Pereira do Carmo

2015

Documento especialmente elaborado para a obtenção do grau de doutor

Este documento foi escrito segundo as regras do acordo ortográfico de 1945, ao abrigo da Resolução da Assembleia da República n.º 35/2008, *Diário da República*, 1.ª série — N.º 145 de 29 de Julho de 2008.

Resumo

A massificação da utilização de dispositivos móveis, em conjunto com a expansão e evolução das redes de comunicação sem fios têm o potencial de democratizar o acesso à grande quantidade de informação que está actualmente disponível.

No entanto, apesar de avanços significativos nos dispositivos móveis actuais subsistem diversas limitações. Estas derivam especialmente do tamanho dos ecrãs, que se mantém reduzido, e do facto de estes dispositivos serem utilizados em cenários de mobilidade com contextos de utilização muito distintos. Estas limitações prejudicam as tarefas de visualização de informação nestes dispositivos, implicando, por vezes, um aumento na carga cognitiva dos utilizadores e dificultando a percepção dos dados apresentados.

A utilização de técnicas que adaptam a visualização ao contexto em que o utilizador se encontra tem o potencial de mitigar muitos dos problemas existentes, tendo por objectivo a diminuição da carga cognitiva necessária para uma compreensão correcta da informação apresentada.

Neste trabalho é proposta uma infra-estrutura conceptual, denominada Chameleon, que pretende servir de base à concepção de aplicações de visualização adaptativa de informação para dispositivos móveis. Esta infra-estrutura tem o objectivo de permitir a sua reutilização em diferentes domínios aplicacionais e possibilitar a utilização de um conjunto diversificado de contextos de uso.

A abordagem proposta pela Chameleon foi utilizada no desenvolvimento de diversos protótipos em que são propostas e validadas contribuições para a área da visualização de informação em dispositivos móveis.

Palavras-chave: Visualização de Informação, Visualização Adaptativa, Dispositivos Móveis, Aplicações Conscientes do Contexto

Abstract

The generalization of the use of mobile devices, in conjunction with the expansion and evolution of the wireless communication networks, has the potential of enabling the access to the large amount of information currently available.

However, despite significant advances in current mobile devices there are still some limitations. These derive especially from the screen size, which remains small, and to the fact that these devices are used in mobility scenarios with very distinct characteristics. Such limitations hinder the information visualization tasks in mobile devices, which can, sometimes, increase the cognitive load and hamper the user perception of the presented data.

The use of techniques that adapt the visualization to the context in which the user is, has the potential to minimize some of the existing problems, reducing the cognitive load that is necessary for the correct comprehension of the presented information.

In this work a conceptual framework, named Chameleon, is proposed, that aims to serve as a template to the creation of adaptive information visualization applications for mobile devices. This framework has the objective of allowing its reuse in different application domains and creating the possibility of using a diverse set of usage contexts.

The organization proposed by the Chameleon framework was used in the development of several prototypes in which some contributions to the information visualization area, in mobile devices, are proposed and validated.

Keywords: Information Visualization, Adaptive Visualization, Mobile Devices, Context Awareness

Agradecimentos

O processo de elaboração deste documento e de todo o trabalho que está por trás dele envolveu um caminho por vezes difícil e com muitos desafios e incertezas.

Não teria sido possível chegar a este ponto sem o apoio das diversas pessoas que me ajudaram a superar cada obstáculo que fui encontrando.

Em especial, quero começar por agradecer às minhas orientadoras, que me nortearam neste longo processo de crescimento científico, o seu apoio, paciência e motivação. Quero ainda agradecer as inúmeras revisões feitas a este documento.

Quero também agradecer ao Departamento de Informática da FCUL as condições e apoio prestado e a todos os docentes que, de alguma forma, me auxiliaram neste caminho.

Aos grupos de investigação do LaSIGE e LabMAg e aos seus investigadores, quero dar uma palavra de reconhecimento pela sua camaradagem. Ainda um agradecimento especial, ao Pedro Gonçalves, pelo apoio administrativo que me facultou.

A todos os que voluntariamente participaram numa das diversas avaliações efectuadas, agradeço a disponibilidade e a boa disposição com que encararam as tarefas que lhes pedi para fazerem.

Um agradecimento especial aos meus pais sem os quais nunca teria sido possível chegar a este ponto da minha vida. Agradeço-lhes a educação que me deram, o seu amor, apoio e compreensão com que me guiaram nestes longos anos. Sem eles não teria conseguido.

À minha irmã, Mónica, por me estar sempre a dar cabo do juízo... no bom sentido. É a minha irmã favorita!

Por último às minhas sobrinhas, Patrícia e Carolina, um obrigado do tamanho do mundo por me colocarem um sorriso na cara, mesmo quando as coisas não corriam da melhor forma. O meu coração está cheio com o seu amor.

Índice

INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 OBJECTIVOS	6
1.3 METODOLOGIA	7
1.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	8
1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	11
 ENQUADRAMENTO	 13
2.1 DISPOSITIVOS MÓVEIS – CARACTERÍSTICAS E LIMITAÇÕES	13
2.2 VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO.....	17
2.3 APLICAÇÕES BASEADAS NA LOCALIZAÇÃO.....	22
2.4 VISUALIZAÇÃO ADAPTÁVEL E VISUALIZAÇÃO ADAPTATIVA	24
2.5 SUMÁRIO E DISCUSSÃO	26
 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE VISUALIZAÇÃO ADAPTATIVA.....	 27
3.1 CATEGORIZAÇÕES DOS CONTEXTOS EM AMBIENTE MÓVEL.....	27
3.2 CATEGORIZAÇÕES DOS OBJECTOS DE ADAPTAÇÃO	29
3.3 ORGANIZAÇÃO DE APLICAÇÕES ADAPTATIVAS	30
3.4 CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE VISUALIZAÇÃO ADAPTATIVA	35
3.5 SUMÁRIO E DISCUSSÃO	39
 CHAMELEON – VISUALIZAÇÃO ADAPTATIVA EM AMBIENTES MÓVEIS	 41
4.1 CONTEXTOS DE USO EM AMBIENTE MÓVEL.....	42
4.1.1 Contexto do Utilizador	44
4.1.2 Contexto Físico.....	45
4.1.3 Contexto Temporal	45
4.1.4 Contexto Computacional	45
4.1.5 Contexto Histórico	46
4.2 OBJECTOS DE ADAPTAÇÃO EM APLICAÇÕES DE VISUALIZAÇÃO MÓVEL.....	46

4.3	MÉTODOS DE ADAPTAÇÃO PARA VISUALIZAÇÃO MÓVEL	47
4.3.1	Contexto do Utilizador	48
4.3.2	Contexto Físico	49
4.3.3	Contexto Temporal	50
4.3.4	Contexto Computacional.....	50
4.3.5	Contexto Histórico.....	51
4.4	CHAMELEON.....	51
4.4.1	Chameleon – Modelo de Arquitectura.....	52
4.4.2	Gestão dos Objectos de Adaptação	53
4.4.3	Gestão dos Métodos de Adaptação	55
4.4.4	Gestão dos Contextos de Uso	56
4.4.5	Fluxo de Informação.....	60
4.5	SUMÁRIO E DISCUSSÃO.....	62
ADAPTAÇÃO DA VISUALIZAÇÃO À LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO		65
5.1	MOTIVAÇÃO.....	65
5.2	ALGORITMO DE PESQUISA ADAPTADA À ORIENTAÇÃO	68
5.2.1	Definição da Área de Pesquisa	69
5.2.2	Determinação da Localização dos Pontos de Interesse em Relação ao Utilizador	69
5.3	INTERFACE COM O UTILIZADOR.....	70
5.3.1	Interface de Configuração	71
5.3.2	Interface de Pesquisa	72
5.3.3	Modo Dinâmico e Modo Estático.....	73
5.4	IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE VA COM ADAPTAÇÃO À ORIENTAÇÃO	74
5.5	AVALIAÇÃO COM UTILIZADORES	76
5.5.1	Procedimento.....	76
5.5.2	Participantes	77
5.5.3	Tarefas.....	77
5.5.4	Resultados.....	77
5.6	SUMÁRIO E DISCUSSÃO.....	80
ADAPTAÇÃO DA VISUALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERIORES		83
6.1	MOTIVAÇÃO.....	84
6.2	TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO NO INTERIOR DE EDIFÍCIOS	85
6.2.1	Infra-Estruturas Instaladas para Posicionamento Interior	85
6.2.2	Posicionamento Interior Utilizando as Redes Wi-Fi Existentes.....	86
6.2.3	Posicionamento no Interior sem Infra-Estruturas.....	87
6.3	ALGORITMO DE POSICIONAMENTO INTERIOR	89
6.3.1	Algoritmo de Detecção de Passos	89
6.3.2	Grafo da Planta e Correção da Posição	91
6.4	IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE VA COM POSICIONAMENTO INTERIOR.....	92

6.5	AVALIAÇÃO COM UTILIZADORES	95
6.5.1	Procedimento.....	95
6.5.2	Resultados.....	95
6.5.3	Validação.....	98
6.5.4	Discussão do Erros na Precisão do Algoritmo	99
6.6	ALGORITMO DE POSICIONAMENTO INTERIOR ADAPTADO	99
6.6.1	Ajustamento dos Parâmetros de Detecção de Passos no Interior.....	99
6.7	IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE VA COM POSICIONAMENTO INTERIOR ADAPTADO.....	100
6.7.1	Interface no Exterior	101
6.7.2	Interface no Interior.....	102
6.8	SUMÁRIO E DISCUSSÃO	103
ADAPTAÇÃO DA VISUALIZAÇÃO AO CONTEXTO HISTÓRICO		105
7.1	MOTIVAÇÃO.....	105
7.2	FUNÇÃO DE GRAU DE INTERESSE (DOI).....	107
7.3	FUNÇÃO DE GRAU DE INTERESSE ADAPTATIVA (ADOI)	109
7.3.1	Contexto Histórico	109
7.3.2	Contexto Histórico Adaptado à Localização e Contexto Temporal.....	109
7.3.3	Distâncias Temporais	110
7.4	IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE VA COM ADAPTAÇÃO AO CONTEXTO HISTÓRICO E TEMPORAL.....	111
7.5	AVALIAÇÃO COM UTILIZADORES – 1ª FASE	114
7.5.1	Procedimento.....	115
7.5.2	Participantes	115
7.5.3	Resultados.....	115
7.6	AVALIAÇÃO COM UTILIZADORES – 2ª FASE	117
7.6.1	Procedimento.....	118
7.6.2	Tarefas	118
7.6.3	Resultados e Discussão da Avaliação	119
7.7	SUMÁRIO E DISCUSSÃO	123
CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO		127
8.1	CATEGORIZAÇÕES PROPOSTAS	128
8.2	CHAMELEON	129
8.3	PROTÓTIPOS DE VA	130
8.4	CONCLUSÕES FINAIS	131
8.5	TRABALHO FUTURO	131
BIBLIOGRAFIA.....		135

Lista de Figuras

Figura 2.1. IBM Simon e Nokia 9210 Communicator	14
Figura 2.2. Comparação dos tamanhos dos ecrãs de diferentes dispositivos	14
Figura 2.3. Arte rupestre em Vila Nova de Foz Côa	18
Figura 2.4. Exemplo de visualização científica – modelo do sistema solar interior	19
Figura 2.5. Processo de Visualização	19
Figura 2.6. Dispositivo com GPS integrado, vocacionado para utilização marítima	23
Figura 2.7. Sistema de navegação automóvel, TomTom One.....	23
Figura 3.1. <i>Framework</i> conceptual de cartografia móvel	30
Figura 3.2. Camadas comuns nos sistemas adaptados ao contexto	31
Figura 3.3. Arquitectura CASS	31
Figura 3.4. Arquitectura do modelo Proteus	32
Figura 3.5. Active Context-Aware Framework	33
Figura 3.6. Modelo proposto por Papakonstantinou e Brujic-Okretic.....	33
Figura 3.7. Plataforma CAPIM.....	34
Figura 3.8. <i>Framework</i> Dynamix	35
Figura 3.9. Taxonomia de classificação da gestão dos contextos	36
Figura 4.2. Categorização dos diferentes contextos de uso	44
Figura 4.3. Categorização dos diferentes objectos de adaptação	46
Figura 4.4. Categorização dos métodos de adaptação	47
Figura 4.5. Chameleon	52
Figura 4.6. Diagrama de classes da Chameleon	53
Figura 4.7. Camada de gestão dos objectos de adaptação.....	54
Figura 4.8. Diagrama de classes da Chameleon – camada de objectos de adaptação	55
Figura 4.9. Camada de gestão dos métodos de adaptação	55
Figura 4.10. Classes da Chameleon – camada de gestão de métodos de adaptação	56

Figura 4.11. Camada de gestão dos contextos de uso	57
Figura 4.12. Diagrama de classes da Chameleon – camada de gestão de contextos	58
Figura 4.13. Matriz de adaptação	60
Figura 4.14. Exemplo de fluxo de informação.....	61
Figura 4.15. Adaptação da informação às condições meteorológicas	62
Figura 5.1: Definição das áreas ocupadas por cada PI e associação a cada uma das regiões.....	68
Figura 5.2: Divisão da área de pesquisa considerando oito ou dezasseis regiões	70
Figura 5.3: Áreas de interface.....	73
Figura 5.4: Interface em modo estático	73
Figura 5.5: Arquitectura do protótipo	75
Figura 5.6. Matriz de adaptação	76
Figura 5.7: Média do número de pontos de interesse identificados	78
Figura 5.8: Número de utilizadores por método escolhido para a identificação do restaurante	79
Figura 5.9: Classificação das funcionalidades da aplicação.....	79
Figura 6.1: Alterações na norma do vector aceleração ao andar, representadas com linha azul fina	90
Figura 6.2: Definição do grafo de uma planta de um edifício	92
Figura 6.3: Correção da posição após transição inválida	92
Figura 6.4: Arquitectura do protótipo.....	93
Figura 6.5. Matriz da adaptação do protótipo inicial	93
Figura 6.6: Destino escolhido	94
Figura 6.7: Caminho seguido pelo utilizador.....	94
Figura 6.8: Parâmetros de aceleração λ_p e λ_t	96
Figura 6.9: Tempo (Δt) gasto a dar um passo	96
Figura 6.10: Razão λ_p , λ_t e Δt interior / exterior.....	97
Figura 6.11: Tamanho médio de um Passo	97
Figura 6.12: Proporção do tamanho do passo no interior / exterior	98
Figura 6.13: Razão entre a altura, peso e tamanho do passo	98
Figura 6.14: Arquitectura do protótipo.....	100
Figura 6.15. Matriz de adaptação do segundo protótipo	101
Figura 6.16. Vista de realidade aumentada no exterior.....	102
Figura 6.17. Vista de mapa no exterior	102
Figura 6.18. Vista no interior da planta do edifício	102
Figura 7.1: Arquitectura do protótipo.....	111

Figura 7.2 Matriz de adaptação	112
Figura 7.3. (a) Interface de especificação da pesquisa (b) Ícone de ponto de interesse	112
Figura 7.4. (a) Modo Standard (b) Modo Exploratório	113
Figura 7.5. (a) Modo Adaptativo (b) Informação sobre o ponto de interesse seleccionado	114
Figura 7.6: Atributos mais importantes de Restaurante.....	116
Figura 7.7: Atributos menos importantes de Restaurante	116
Figura 7.8: Utilizadores com preferências diferentes e, para estes, qual o cenário mais próximo	116
Figura 7.9: Classificação média e desvio padrão para cada atributo / cenário.....	117
Figura 7.10: Dol vs. ADol: média das diferenças dos valores.....	120
Figura 7.11: Dol vs. ADol: média das diferenças, em valor absoluto.....	120
Figura 7.12: Dol vs. ADol: média absoluta das diferenças de ordenação.....	120
Figura 7.13: Facilidade de compreensão de cada conceito	121
Figura 7.14: Utilidade de cada modo Dol	121
Figura 7.15: Utilização do modo exploratório na tarefa 4	122
Figura 7.16: Utilização do modo Dol vs. ADol na tarefa 5	122
Figura 7.17: Preferência entre o modo Dol e ADol.....	122
Figura 7.18: Utilização da distância Temporal vs. Geográfica	123
Figura 7.19: Preferência por distância Temporal vs. Geográfica	123

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Comparação entre as características mais comuns dos diferentes dispositivos.....	15
Tabela 3.1. Classificação dos sistemas de acordo com as taxonomias de Nalepa e Bobek, e Bellavista...	37
Tabela 4.1. Relação entre as diferentes propostas de categorizações do contexto.....	42
Tabela 4.2. Classificação do modelo de organização da Chameleon.....	64

Lista de Acrónimos

ADoI	-	Adaptive Degree of Interest
API	-	Application Program Interface
DLNA	-	Digital Living Network Alliance
DoI	-	Degree of Interest
GPRS	-	General Packet Radio Service
GPS	-	Global Positioning System
GSM	-	Global System for Mobile communication
HD	-	High Definition
IU	-	Interface do Utilizador
LAN	-	Local Area Network
LBS	-	Location Based Services
MEMS	-	Micro-Electro-Mechanical System
NFC	-	Near Field Communication
PDA	-	Personal Digital Assistant
RFID	-	Radio-Frequency IDentification
RSSI	-	Received Signal Strength Indication
SQL	-	Structured Query Language
UI	-	User Interface
VA	-	Visualização Adaptativa
VHF	-	Very High Frequency
XML	-	eXtensible Markup Language

Capítulo 1

Introdução

A evolução dos dispositivos móveis, bem como a proliferação de infra-estruturas para comunicação sem fios, promovem a utilização cada vez mais generalizada destes dispositivos. Esta realidade tem fomentado a investigação na área da visualização de informação em ambientes móveis. Contudo, algumas questões pertinentes permanecem por analisar. A exploração e adaptação das técnicas de visualização em dispositivos móveis, baseadas em critérios de localização do utilizador e nas suas preferências, devem ser alargadas a novos contextos que permitam minimizar os problemas existentes nos dispositivos móveis. Adicionalmente, a criação de aplicações de visualização em ambientes móveis deve ser estruturada de forma a permitir a inclusão e gestão destes novos contextos.

1.1 Motivação

Recentemente, tem sido possível observar um crescimento generalizado do número de pessoas com dispositivos móveis. No final do 1º trimestre de 2013, o número de subscrições móveis excedia os 6,4 mil milhões (perfazendo cerca de 90% da população mundial), sendo estimado que este número chegue aos 9,1 mil milhões já em 2018 (Ericsson, 2013). O crescimento no número de dispositivos móveis é especialmente relevante para a democratização do acesso a meios de comunicação nos países subdesenvolvidos, onde o número de subscrições já excede significativamente o número de linhas de telefone fixas (ITU, 2015).

Acoplado ao aumento do número de dispositivos móveis está também o desenvolvimento das infra-estruturas de comunicações sem fios (voz e dados). As comunicações de banda larga móvel estão a tornar-se generalizadas, com mais de mil milhões de subscrições a nível global. A utilização de ligações de dados de alta velocidade é especialmente evidente nos países desenvolvidos, onde mais de metade da população utiliza este tipo de ligações (ISOC, 2015).

Da combinação destes factores deriva que o acesso à informação se vai tornando quase permanente, sem restrições geográficas ou temporais e, até certo ponto, quase ubíquo.

Esta evolução vem ao encontro da necessidade, cada vez maior, que as pessoas têm por serviços e aplicações que os permitam executar e completar tarefas que anteriormente não eram compatíveis com a sua realização em ambientes de mobilidade e, como tal, aumentando a produtividade dos utilizadores.

Por outro lado, o acesso pervasivo à informação está também a alterar a forma como os utilizadores a procuram e usam. Enquanto anteriormente o planeamento diário de determinadas tarefas era feito com antecedência, no dia anterior, normalmente em casa, actualmente os utilizadores estão a começar a optar por efectuar as suas escolhas, localmente e no próprio momento, utilizando os serviços e aplicações, cada vez mais complexos, que estão disponíveis para os seus dispositivos móveis.

O aumento na complexidade das tarefas realizadas nestes dispositivos móveis está também directamente relacionado com a introdução de plataformas móveis que apresentam melhorias significativas ao nível da capacidade de processamento e capacidade gráfica. Esta relação pode ser observada, nomeadamente, no crescente número de *smartphones* vendidos globalmente e no facto de em diversos países mais de metade dos clientes de subscrições móveis já terem um *smartphone* (Comscore, 2015).

A evolução nestes dispositivos naturalmente desencadeou o interesse da investigação na área da visualização de informação em ambientes móveis e permitiu que o papel relevante da visualização, já anteriormente utilizado em diversos domínios aplicativos, fosse agora utilizado de forma ubíqua nestes ambientes.

Contudo, os dispositivos móveis ainda apresentam características com diversas **limitações** que não permitem uma fácil portabilidade das aplicações e técnicas de visualização anteriormente concebidas para computadores de secretária para estes dispositivos.

De facto, apesar destes dispositivos terem evoluído significativamente nos últimos anos, mesmo os *smartphones* mais recentes têm algumas restrições quando comparados com os tradicionais computadores de secretária. Das diversas limitações existentes, algumas, apesar de relevantes, tem tendência a ser minimizadas à medida que os dispositivos se vão tornando cada vez mais potentes. Assim, a capacidade de processamento, a capacidade gráfica e a memória disponível têm tendência a convergir com as capacidades disponíveis nos computadores tradicionais. No entanto, outras limitações derivam do próprio conceito de dispositivo móvel e não deverão desaparecer num futuro próximo, como seja o reduzido espaço de ecrã.

Por outro lado, o ambiente de utilização destes dispositivos é muito variável e introduz uma complexidade adicional no desenvolvimento de aplicações de visualização. Por exemplo, as condições de luminosidade muito variáveis podem afectar a percepção da visualização.

Adicionalmente os contextos de mobilidade propiciam situações em que o foco de atenção do utilizador é habitualmente partilhado entre diversas tarefas.

Deste modo, o reduzido espaço de ecrã, as diferenças nos paradigmas de interacção disponíveis, e o próprio contexto de utilização destes dispositivos em ambientes intrusivos e muito variáveis, podem ser consideradas as principais limitações.

Estes factores indiciam que existem novos **desafios** no processo de concepção e implementação de aplicações de visualização em dispositivos móveis (Chittaro, 2006). De facto, apesar da construção da visualização em dispositivos móveis seguir o mesmo processo utilizado em dispositivos de maior dimensão, é necessário que as etapas de filtragem, mapeamento e renderização sejam adaptadas de forma a minimizar os problemas originados pelas limitações anteriormente referidas.

A utilização de técnicas de filtragem, já importante noutros meios, é fulcral para reduzir a quantidade de dados apresentados ao utilizador. O reduzido espaço de ecrã implica que toda a informação que lá seja mostrada tem realmente de ser importante para o utilizador e transmitida de uma forma que seja facilmente apreendida por este (Holtzblatt, 2005). No entanto, esta redução não poderá ser feita sem ter em conta as circunstâncias actuais em que o utilizador se encontra. Caso contrário, não só a filtragem da informação irrelevante será ineficiente, como não será possível perceber qual a que é pertinente manter para a tarefa que o utilizador está a executar.

Do mesmo modo, é essencial que o mapeamento entre os dados apresentados e os elementos gráficos utilizados sejam adequados à sua utilização e compreensão em ambientes muito variáveis e provocando o mínimo de distracção possível no utilizador, de forma a não prejudicar a sua atenção ao mundo real que o rodeia.

Deverão também ser exploradas formas de efectuar uma correcta renderização da visualização, de modo a que seja possível continuar as tarefas de visualização em situações em que haja uma variação significativa do ambiente envolvente ao utilizador.

Adicionalmente, a usabilidade destes sistemas, progressivamente mais complexos, tem de ser cuidadosamente explorada uma vez que utilizadores inexperientes não irão adoptar facilmente estes serviços se a complexidade da interacção e as suas restrições não forem removidas (Chittaro, 2004; Burigat e Chittaro, 2005).

Existem muitos trabalhos que exploram formas de melhorar o processo da visualização em dispositivos móveis (Lee, Isenberg, Riche e Carpendale, 2012), contudo continuam a existir desafios na exploração da variabilidade da utilização neste tipo de dispositivos.

As adaptações realizadas nas diferentes fases do processo de visualização não serão eficazes se forem efectuadas de forma estática e independente das circunstâncias actuais em que a

visualização está a ser utilizada, uma vez que algumas adaptações podem melhorar a visualização numa situação, mas piorá-la noutra. É assim **essencial que as adaptações sejam feitas de forma dinâmica**, ajustando-se à situação actual do utilizador.

A integração de sensores de posicionamento, nos dispositivos móveis, permitiu às aplicações destes dispositivos o acesso à localização do utilizador, em tempo real, permitindo adaptar a informação apresentada de acordo com este contexto posicional. Assim, nos últimos anos, foram propostas diversas técnicas para minimizar os problemas da visualização de informação nos dispositivos móveis, que exploram o conhecimento da localização do utilizador e informação acerca das suas preferências, permitindo adaptar e melhorar o modo como a informação é apresentada ao utilizador. Desta forma, sistemas como o MAGDA (Burigat e Chittaro, 2008) e o MoViSys (Pombinho et al., 2008) exploraram a utilização desta informação, em conjunto com técnicas de filtragem de forma a reduzir a informação apresentada, sendo apenas visualizada a mais relevante para o utilizador.

De igual forma, alguns trabalhos, como o sistema WebPark (Edwardes, Burghardt e Weibel, 2005) e o sistema GiMoDig (Nivala e Sarjakoski, 2007) exploraram a adaptação do posicionamento e simbologia dos elementos apresentados no ecrã, com o objectivo de desambiguar a informação confusa e tornando a visualização mais pertinente para cada utilizador.

Os resultados obtidos nestes trabalhos permitiram minimizar alguns dos problemas existentes na visualização de informação em ecrãs de dimensão reduzida, através da utilização do conhecimento do contexto posicional do utilizador e das suas preferências, contudo é necessária uma visão mais abrangente e aprofundada dos aspectos de visualização e de interacção adaptáveis a diversas dimensões de contexto. A exploração e adaptação das técnicas de visualização de informação para dispositivos móveis não devem ficar limitadas aos contextos de localização e preferências do utilizador, devendo ser alargadas a outros contextos mais enriquecidos.

Apesar das suas limitações, os dispositivos móveis mais recentes têm o potencial de promover este enriquecimento uma vez que dispõem de um conjunto, cada vez maior, de sensores integrados. Estes sensores permitem que outros tipos de informação, que não apenas a localização, possam ser obtidos relativamente aos utilizadores e à sua vizinhança.

De forma genérica, cada um destes tipos de informação pode ser considerado um **contexto de uso**, descrevendo determinadas características relativas ao ambiente envolvente à utilização da aplicação, incluindo informação acerca do próprio utilizador. Desta forma é possível designar como **aplicações conscientes do contexto** (*context-aware*) todas as aplicações que utilizem informação acerca de um ou vários contextos de uso, de forma a adaptar a aplicação a esta informação.

Existem duas outras definições que são relevantes, para além do conceito de contexto de uso, para que se percebam os sistemas conscientes do contexto.

Por um lado, é relevante o conceito de **objecto de adaptação**, que diz respeito a todos os objectos, pertencentes à aplicação, que podem ser alterados através do conhecimento de um dado contexto de uso.

E, por outro lado, importa também definir o conceito de **método de adaptação** que se refere aos métodos existentes que permitem alterar os objectos de adaptação ao conhecimento dos diversos contextos de uso (Reichenbacher, 2008).

Como exemplo desta relação, considere-se o cenário de um utilizador que pretende ir ao cinema. A pesquisa por um filme e os possíveis locais onde o pode visualizar pode ser uma tarefa complexa quando feita através de um ecrã de tamanho reduzido. Para facilitar a concretização desta tarefa, a informação (o objecto de adaptação) pode ser adaptada através da utilização de uma função de filtragem (o método de adaptação) de acordo com a informação sobre a hora e data e o local onde o utilizador se encontra (os contextos de uso). Neste cenário, apenas serão mostrados os cinemas que tenham sessões com horários compatíveis com a localização do utilizador, a hora actual e, adicionalmente, a informação do tempo que o utilizador demora a chegar ao local.

A adaptação dos sistemas conscientes do contexto aos diferentes contextos de uso gera o potencial de diminuição das restrições impostas pelos reduzidos ecrãs dos dispositivos. Reichenbacher (2008) define **visualização adaptativa** como sendo referente ao ajustamento das diversas componentes do processo de visualização (tais como a interface, a informação apresentada ao utilizador e a codificação dos dados) aos contextos de uso que se verificam num determinado cenário.

Com a cada vez maior quantidade de informação que está disponível num ambiente de mobilidade, é expectável que a procura por visualizações que estejam adaptadas a um contexto deva aumentar. As aplicações de visualização adaptativas são especialmente relevantes quando consideradas para aumentar a usabilidade das tarefas de visualização de informação em dispositivos com ecrãs de reduzida dimensão, e na redução da carga cognitiva que é inerente a um cenário de utilização em ambiente móvel.

As aplicações adaptáveis ao contexto são um importante tópico de pesquisa, tendo sido registados avanços significativos nesta área e nos contextos de mobilidade. No entanto, a pesquisa nesta área está ainda demasiado focada nos contextos computacionais e de localização. Por esta razão, as aplicações de visualização de informação em ambiente móvel tem, na maioria dos sistemas, explorado apenas estes contextos e os métodos de adaptação que com eles estão

relacionados. A disponibilização de novos sensores, integrados nos dispositivos mais recentes, sugere que contextos mais complexos e mais diversos devem ser explorados.

Alguns estudos já exploraram a adaptação de técnicas de visualização de informação a outros contextos, como as preferências do utilizador, o seu perfil, e a actividade que está a efectuar (Reichenbacher, 2008; Nivala e Sarjakoski, 2007; Cai e Xue, 2006). No entanto, estes trabalhos lidam normalmente com um conjunto limitado de contextos ou estão demasiado focados num domínio específico, prejudicando a sua reutilização em diferentes áreas.

Schwinger, Grün, Pröll e Retschitzegger (2008) descrevem e comparam diferentes sistemas adaptáveis ao contexto. Na análise efectuada os autores concluem que, apesar de globalmente serem explorados conjuntos alargados de contextos, o mesmo não é verdade quando se consideram os sistemas individualmente.

Deste modo, para organizar o desenvolvimento de aplicações de visualização adaptáveis ao contexto de uso justifica-se conceber uma infra-estrutura conceptual de *middleware* adaptativo que permita capturar um conjunto de funcionalidades comuns às aplicações de visualização em ambientes móveis e, em particular, que permita suportar uniformemente um conjunto abrangente de contextos de uso e os seus respectivos métodos de adaptação.

1.2 Objectivos

O trabalho de doutoramento aqui apresentado tem como objectivo propor um modelo conceptual de uma infra-estrutura de *middleware*, para estruturar as aplicações e serviços adaptativos de visualização de informação em ambientes móveis.

Este modelo deverá ser capaz de organizar e gerir um conjunto alargado e diverso de contextos de uso, bem como a relação destes com os objectos de adaptação e os métodos que os adaptam, em diferentes áreas de aplicação, permitindo que, de forma transparente para o utilizador, se consiga melhorar a visualização de informação em dispositivos móveis.

Adicionalmente, pretende-se explorar novas formas de obtenção de contextos e propor métodos de adaptação que contribuam para a área da visualização de informação em dispositivos móveis.

O primeiro passo no desenvolvimento de uma infra-estrutura conceptual de *middleware*, que tem o objectivo de gerir de forma eficaz as adaptações de acordo com os diferentes contextos, é compreender, à partida, qual a ligação entre os diversos contextos que existem num ambiente de mobilidade, os objectos que estão tipicamente presentes em aplicações de visualização de informação, e os diferentes métodos de adaptação.

Assim, os objectivos específicos deste trabalho são:

- Analisar e categorizar as diferentes dimensões de contexto que podem ser obtidas numa situação de mobilidade e identificar os contextos que estão envolvidos na adaptação da visualização de informação em dispositivos móveis.
- Analisar e categorizar os objectos de adaptação envolvidos no processo de adaptação da visualização de informação em dispositivos móveis.
- Propor técnicas de obtenção de novos contextos que possam ser úteis para a visualização adaptativa de informação em dispositivos móveis.
- Propor e estender métodos de adaptação que solucionem problemas existentes na visualização de informação em dispositivos móveis.
- Propor um modelo conceptual de uma infra-estrutura de *middleware* para suporte ao desenvolvimento de aplicações de visualização adaptativa de informação para dispositivos móveis.
- Construir e validar protótipos que utilizem a organização proposta.

1.3 Metodologia

A metodologia de validação deste trabalho baseia-se na aplicação de um modelo de validação experimental usado em projectos de engenharia de *software* (Basili, 1996), (Zelkowitz e Wallace, 1998). Este modelo consiste no desenvolvimento e teste das soluções, de forma incremental, sendo estas sucessivamente melhoradas e avaliadas:

- Observação de soluções existentes para um determinado problema - Esta etapa envolve o estudo de soluções relacionadas com o tema tratado e pesquisa bibliográfica sobre as matérias de enquadramento deste trabalho. Este estudo visa detectar as limitações das soluções actuais e conceber uma solução adequada para a satisfação dos requisitos identificados.
- Proposta de soluções – Depois de terem sido analisados os trabalhos relevantes, o conhecimento obtido através dessa pesquisa será utilizado para a elaboração e proposta de possíveis soluções.
- Desenvolvimento, construção e análise das soluções – Após terem sido propostas as soluções, estas serão desenvolvidas através da criação de protótipos que as implementem. A concretização destes protótipos é fundamental para o aperfeiçoamento dos conceitos, métodos e modelo propostos. Estes demonstradores constituem a base de estudo para a recolha de informação e validação do trabalho proposto.

Deste modo, a validação do trabalho aqui proposto foi concretizada em três etapas distintas:

- Pesquisa bibliográfica que permita identificar quais os trabalhos já publicados relativamente aos diferentes contextos de uso, métodos de adaptação e objectos de adaptação, e também quais as propostas já efectuadas sobre as diferentes formas de organização das aplicações de visualização adaptativa de informação em ambientes móveis.
- Proposta de um modelo conceptual de uma infra-estrutura de *middleware*, cuja organização possa ser utilizada na criação de aplicações de visualização adaptativa em dispositivos móveis, utilizando um conjunto diversificado de contextos, e categorização dos diferentes componentes existentes neste modelo.
- Implementação e validação de protótipos que utilizem a infra-estrutura proposta no ponto anterior e que contribuam para o domínio da visualização de informação em dispositivos móveis, propondo novas técnicas de adaptação da visualização e a captura de novos tipos de informação contextual.

1.4 Síntese dos Resultados

Inicialmente foi feita uma extensa pesquisa bibliográfica que permitiu encontrar diversos trabalhos relevantes para a presente investigação. Estes trabalhos permitiram proceder à identificação e posterior categorização, das diferentes dimensões de contexto relevantes para a visualização de informação em ambientes móveis, dos métodos de adaptação que utilizam esta informação e dos objectos existentes que podem ser adaptados.

Foi proposto um modelo conceptual de uma infra-estrutura de *middleware* para aplicações de visualização adaptativa para ambientes móveis, denominada Chameleon. Este modelo permite resolver algumas das limitações identificadas nos modelos existentes, utilizando uma abordagem que facilita a sua reutilização e a utilização de um conjunto diversificado de contextos de uso, ao mesmo tempo que auxilia a gestão destes contextos.

De forma a verificar o modelo proposto foram desenvolvidos vários protótipos de aplicações de visualização adaptativa de informação para dispositivos móveis que utilizam a infra-estrutura proposta.

Foi desenvolvido um sistema de visualização de pontos de interesse adaptável à localização e orientação do utilizador. Este protótipo contribui para a área da visualização de informação em dispositivos móveis, propondo técnicas que auxiliam, aos utilizadores, a identificação dos pontos de interesse ao seu redor através da adaptação das imagens apresentadas, de modo a que coincidam com a localização e orientação do utilizador.

Foi estudada a adaptação ao posicionamento no interior de edifícios, sendo desenvolvido um protótipo em que era proposto um novo algoritmo de posicionamento. Este algoritmo permitia a captura do contexto localização do utilizador no interior de edifícios, através da fusão de outros contextos. Este conceito foi posteriormente expandido e optimizado num novo protótipo focado no posicionamento interior, mas no qual este posicionamento é adaptado em função dos movimentos e posicionamento que o utilizador fez, previamente, no exterior.

Após terem sido desenvolvidas estas duas aplicações, procedeu-se ao desenvolvimento de módulos adicionais para a captura de contextos no dispositivo móvel, o que permitia o desenvolvimento de aplicações de visualização adaptativa utilizando um conjunto de contextos mais enriquecidos.

Foi desenvolvido um protótipo de um sistema de recomendação de pontos de interesse que, além de utilizar alguns dos contextos explorados anteriormente, também utiliza contextos temporais e históricos para permitir uma recomendação adaptada aos interesses dinâmicos dos utilizadores, consoante o lugar e hora onde se encontram. Este protótipo permitiu identificar qual o papel dos contextos históricos, temporais e de localização, na mudança das preferências dos utilizadores em cenários distintos, bem como propor formas de explorar essas mudanças para melhorar as recomendações feitas.

De seguida enumeram-se os artigos publicados ao longo do período de execução do trabalho de doutoramento e, entre parêntesis, os capítulos sobre os quais dizem respeito:

Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2009a. Contextos e Visualização Adaptativa em Ambientes Móveis. *1º INForum – Simpósio de Informática*. Setembro 2009. (Capítulo 4)

Aguiar, H., Carmo, M. B., Pombinho, P., e Afonso, A. P., 2009. Pesquisas Baseadas na Localização e Orientação em Dispositivos Móveis. *17º Encontro Português de Computação Gráfica*, 269-275, Outubro 2009. (Capítulo 5)

Pombinho, P., Carmo, M. B., Afonso, A. P., e Aguiar, H., 2010a. Location and Orientation Based Queries on Mobile Environments. *Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2010 International Conference*, 209-218, Julho 2010.

(Este artigo foi seleccionado para publicação numa edição especial do *International Journal of Computer Systems and Industrial Management Applications*, (3), 788-795). (Capítulo 5)

Pombinho, P., Carmo, M. B., Afonso, A. P., e Aguiar, H., 2010b. Location and Orientation Based Point of Interest Search Interface. *MobileHCI 2010, the 12th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Setembro 2010. (Capítulo 5)

Pombinho, P., 2010c. Information Visualization on Mobile Environments. *MobileHCI 2010, the 12th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services – Doctoral Consortium*, Setembro 2010. (Capítulo 4)

Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2010d. Indoor Positioning Using a Mobile Phone with an Integrated Accelerometer and Digital Compass. *2º INForum – Simpósio de Informática*, 443-446, Setembro 2010. (Capítulo 6)

Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2011a. Point of Interest Awareness Using Indoor Positioning with a Mobile Phone. *PECCS 2011, International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems*, 5-14, Março 2011. (Capítulo 6)

Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2011b. Chameleon – A Context Adaptive Visualization Framework for a Mobile Environment. *Information Visualization IV'2011*, 151-157, Julho 2011. (Capítulo 4)

Silva, P., Pombinho, P., Afonso, A. P., e Gonçalves, T., 2011. RUBI: An Open Source Android Platform for Mobile Augmented Reality Applications. *Workshop on Mobile Augmented Reality: Design Issues and Opportunities, MobileHCI 2011, the 13th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Setembro 2011. (Capítulo 6)

Pombinho, P., Carmo, M. B., e Afonso, A. P., 2012a. Context Aware Point of Interest Adaptive Recommendation. *Workshop on Context-Awareness in Retrieval and Recommendation, in conjunction with IUI 2012 – International Conference on Intelligent User Interfaces*, 30-33, Fevereiro 2012. (Capítulo 7)

Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2012b. Mixed Environment Adaptive System for Point of Interest Awareness. *Workshop on Location Awareness for Mixed and Dual Reality, in conjunction with IUI 2012 – International Conference on Intelligent User Interfaces*, Fevereiro 2012. (Capítulo 6)

Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2013. Understanding the Role of Historical Context in a Point of Interest Recommendation System. *International Conference on Information Visualization Theory and Applications, IVAPP 2013*, 537-541, Fevereiro 2013. (Capítulo 7)

Pombinho, P., Carmo, M. B., e Afonso, A. P., 2015. Adaptive Mobile Visualization – The Chameleon Framework. *Computer Science and Information Systems*, 12 (2), 445-464, Junho 2015. (Capítulo 4)

1.5 Estrutura do Documento

Este relatório encontra-se organizado da seguinte forma:

No segundo capítulo é apresentado um enquadramento a alguns dos conceitos base abordados neste trabalho. De seguida, no capítulo três, é apresentado o trabalho relacionado relevante para a identificação e categorização dos componentes das aplicações de visualização adaptativa de informação em dispositivos móveis e, de seguida, são explorados os trabalhos que abordam a problemática da organização deste tipo de aplicações.

No capítulo quatro é apresentada a proposta, utilizada neste trabalho, de categorização dos contextos de uso, dos objectos e dos métodos de adaptação e, de seguida, é apresentado o modelo conceptual de uma infra-estrutura de *middleware* para aplicações de visualização adaptativa de informação para dispositivos móveis, denominada Chameleon.

Nos três capítulos seguintes são apresentadas as técnicas de adaptação e as aplicações desenvolvidas utilizando a organização proposta pela Chameleon. Nomeadamente, no capítulo cinco é apresentada uma visualização adaptada à orientação e localização do utilizador. No capítulo seis são apresentadas duas propostas desenvolvidas para o posicionamento no interior de edifícios e também no exterior, e respectiva visualização. E no capítulo sete é apresentado um sistema de recomendação de pontos de interesse adaptado ao contexto histórico e temporal do utilizador. Por uma questão de facilidade de leitura e compreensão, o trabalho relacionado referente às técnicas propostas nestes três capítulos será abordado no contexto dos respectivos capítulos.

Por último, no capítulo oito são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho efectuado e são apontadas possíveis direcções futuras de investigação.

Capítulo 2

Enquadramento

A visualização de informação em dispositivos móveis requer o conhecimento de conceitos fundamentais da área da computação móvel e da área de visualização de informação. Deste modo, na primeira secção será feita uma breve análise das características dos dispositivos móveis de modo a criar o enquadramento para uma reflexão sobre os principais desafios relativos à criação de aplicações de visualização de informação para estes dispositivos. A segunda secção aborda a temática da visualização de informação, tendo em vista compreender quais os desafios associados aos novos ambientes de mobilidade e quais os conceitos utilizados ao longo desta tese. Será então feita uma breve descrição da evolução das aplicações para dispositivos móveis, começando nas aplicações baseadas na localização, e depois generalizando para as aplicações de visualização adaptáveis ao contexto.

2.1 Dispositivos Móveis – Características e Limitações

O conceito de dispositivo móvel começou por ganhar popularidade com a evolução dos telefones móveis, os quais foram progressivamente ganhando funcionalidades para além do mero uso para comunicações de voz, ao mesmo tempo que foram diminuindo de tamanho e aumentando a sua autonomia. Em paralelo, principalmente na década de 90, o aparecimento de assistentes digitais pessoais (PDA – Personal Digital Assistant) tornou popular a utilização deste tipo de dispositivos para permitir ao utilizador gerir de forma simples a sua informação.

A partir de meados da década de 90, com o lançamento dos primeiros PDAs que também incluíam a possibilidade de utilização como telemóvel, surgiu uma nova categoria de dispositivos móveis, denominada de telefones inteligentes (*smartphones*), que agregam as funcionalidades dos telemóveis com as de um PDA. Na Figura 2.1 são apresentados dois dos primeiros *smartphones*, o Simon Personal Communicator da IBM (IBM, 1993) e o Nokia Communicator.



Figura 2.1. IBM Simon¹ (esquerda) e Nokia 9210² Communicator (direita)

O facto de este tipo de dispositivo se ter tornado, do ponto de vista económico, gradualmente mais acessível ao consumidor, associado a uma melhoria dos seus componentes e à sua miniaturização, abriu caminho à generalização do seu uso e do aumento progressivamente maior das funcionalidades que estes suportam.

Hoje em dia é possível assistir a um aumento das capacidades dos dispositivos, seguindo, no entanto, nalguns aspectos, um caminho oposto ao anterior. Se previamente cada dispositivo era mais pequeno que o seu antecessor, actualmente tem-se vindo a aumentar progressivamente o tamanho dos dispositivos. Este facto promoveu o aparecimento de dispositivos, como os *tablets*, gradualmente mais próximos dos computadores portáteis de dimensões mais reduzidas, mas com um conjunto de características, herdadas dos dispositivos mais pequenos, que permitem o seu uso também em cenários de mobilidade (Figura 2.2).



Figura 2.2. Comparação dos tamanhos dos ecrãs de diferentes dispositivos, da esquerda para a direita: PC Desktop, Laptop, Tablet e Smartphone

Apesar de actualmente existir uma grande variedade de dispositivos móveis, este trabalho tem o seu principal foco na categoria dos *smartphones* devido a apresentarem as maiores limitações

¹ Imagem cedida por Bcos47, via Wikimedia Commons

² Imagem cedida por J-P Kärnä via Wikimedia Commons

para as aplicações de visualização de informação, e que não deverão deixar de existir a curto prazo.

Tabela 2.1. Comparação entre as características mais comuns dos diferentes dispositivos (2015)

Característica	Desktop	Laptop	Tablet	Smartphone
Processador	1.3 a 4.1 GHz	1.1 a 3.2 GHz	1.0 a 2.4 GHz	1.0 a 1.9 GHz
Memória	4 a 32 GB	2 a 16 GB	1 a 4 GB	0.5 a 2 GB
Custo	300 a 3000 €	300 a 2000 €	50 a 900 €	100 a 800 €
Ecrã / Resolução Máxima	48 a 68 cm 3840 x 2160 px	25 a 45 cm 2880 x 1800 px	17 a 25 cm 2048 x 1536 px	5.6 a 16.3 cm 1920 x 1080 px
Modalidade de Interação	Teclado + Rato; Ecrã tátil raro	Teclado + Rato; Ecrã tátil começa a existir	Ecrã tátil; Alguns modelos têm teclado	Ecrã tátil; Raro ter teclado físico
Armazenamento	256 a 4096 GB	128 a 1024 GB	8 a 128 GB	0.1 a 64 GB
Conectividade	Wi-Fi, LAN	Wi-Fi, LAN, Bluetooth	Wi-Fi, GPRS, Bluetooth, NFC	
Sensores	Não é normal ter sensores	Raros; Alguns modelos têm um acelerómetro limitado	Comum terem sensores: GPS, acelerómetro, giroscópio, termómetro e sensor de luminosidade, entre outros.	
Portabilidade	Fixo num único local	Fácil de transportar, mas para utilização estática	Utilização em diversos cenários de mobilidade	Utilização em quase todos os cenários de mobilidade
Peso	Mais de 5 kg	450 a 5000 g	300 a 900 g	80 a 250 g
Autonomia	Sem autonomia	3,5 a 12 horas	8 a 15 horas	2 a 35 horas

Na Tabela 2.1 é apresentado um resumo das principais características entre os diferentes tipos de dispositivos, para permitir uma análise comparativa. Assim, a análise desta tabela relativamente às características dos *smartphones* permite concluir que:

Capacidade de Processamento e Memória – Os dispositivos móveis têm vindo a apresentar cada vez maior poder computacional e capacidade de memória, diminuindo a diferença para os dispositivos não móveis, da mesma forma que a diferença, nestas características, entre computadores portáteis e computadores de secretária tem vindo a diminuir. No entanto, apesar desta aproximação, os dispositivos móveis, e particularmente os *smartphones*, estão ainda numa ordem de grandeza abaixo do que é comum encontrar em dispositivos de maior dimensão.

Custo – A crescente popularidade dos dispositivos móveis é também justificada pelo seu custo que, em geral e comparativamente a computadores *desktop* e portáteis, apresentam valores de cerca de 1/3 a 1/2 inferiores.

Ecrã e Resolução – A maior limitação dos dispositivos móveis continua a ser o tamanho do ecrã. Apesar das resoluções e capacidade gráfica dos dispositivos terem sofrido uma enorme melhoria, sendo já comum a existência de ecrãs com capacidade de resoluções

Full-HD (1920 x 1080 pixels), o tamanho efectivo do ecrã continua a ser muito reduzido. Quando comparados com os computadores *desktop* ou portáteis, os *smartphones* chegam a ter ecrãs dez vezes mais pequenos, dificultando as tarefas de visualização da informação apresentada.

Modalidade de Interação – Os paradigmas de interação utilizados são outra das diferenças essenciais entre os diversos dispositivos. É cada vez mais comum que os dispositivos móveis incluam um ecrã táctil, sendo actualmente esse o padrão nos novos dispositivos. Este tipo de característica permite, por vezes, uma utilização mais simples do dispositivo através de novos modos de interação que não necessitam de grande precisão no local onde o utilizador toca no ecrã, recorrendo, por exemplo, à identificação de gestos mais genéricos, como o deslizar de um dedo da esquerda para a direita. De modo inverso, por terem frequentemente uma quase total ausência de teclas físicas, é necessário que, em situações em que a atenção do utilizador não possa ser correctamente focada no ecrã, o tipo de interação do utilizador com o dispositivo seja repensado.

Armazenamento – A capacidade de armazenamento é também uma das características na qual tanto os *smartphones* como os *tablets* têm menor capacidade. De facto, entre os casos de maior e menor capacidade, chega a existir uma diferença na ordem de 1 para 1000. Apesar da magnitude da diferença, esta limitação tem, nos últimos tempos, vindo a ser minimizada através da generalização da utilização de serviços que permitem armazenar os dados do utilizador, de forma distribuída, em servidores próprios, acessíveis através de Internet.

Conectividade – Apesar da capacidade das ligações de dados disponíveis nos dispositivos móveis serem, geralmente, mais lentas, estes têm melhorado, sendo comum que, além das ligações às redes móveis (voz + dados), existam ligações Wi-Fi e Bluetooth, além de outras, permitindo, deste modo, um acesso mais generalizado às redes de comunicação do que os computadores *desktop*.

Sensores – A integração de sensores é uma diferença substancial em relação aos dispositivos tradicionais. Assim, a inclusão nos dispositivos mais recentes, de um conjunto cada vez mais alargado de sensores, como acelerómetros, magnetómetros ou termómetros, entre outros, permitem obter informação relevante sobre o contexto no qual se encontra o utilizador e, desta forma, potencia a adaptação das aplicações ao conhecimento desta informação.

Portabilidade e Autonomia – A portabilidade dos dispositivos móveis apresenta vantagens e desvantagens. Por um lado, pelo facto de este tipo de dispositivos poder ser utilizado em qualquer lugar, permite a sua utilização para a resolução de tarefas nas quais seria impossível utilizar outro tipo de dispositivos, ou em situações em que a utilização de computadores com maior dimensão e peso não se revelaria prática. Por outro lado, uma vez que o contexto de

mobilidade em que se pode utilizar estes dispositivos é tão variado, e existindo limitações e restrições que dependem do lugar e situação onde o utilizador se encontra, a tarefa de manter constante a carga cognitiva, originada pelo sistema, nestes diversos ambientes de utilização, torna-se demasiado complexa se o sistema se comportar de forma estática, não se adaptando a estas alterações.

A análise e discussão sobre a adaptabilidade dos dispositivos móveis aos requisitos dos ambientes móveis e aos critérios de especialização da sua utilização continua a ser objecto de investigação. De facto, os contornos associados às suas limitações e aos aspectos de interacção e de visualização de informação estão ainda deficientemente compreendidos.

Por um lado, algumas das diferenças dos dispositivos móveis, relativamente aos outros dispositivos, são vantajosas, como é o caso da integração de diversos sensores que permitem conhecer o contexto de utilização em cada instante, ou o reduzido tamanho, nomeadamente dos *smartphones*, que permite a sua utilização de modo quase universal,

Em contrapartida, existem também diversos factores que limitam significativamente a possibilidade destes dispositivos oferecerem, de modo genérico, uma utilização com baixa carga cognitiva e um elevado poder de compreensão, pelos utilizadores, daquilo que é apresentado no ecrã.

Apesar de existirem todas estas características, passíveis de serem alvo de investigação, este trabalho foca-se nos aspectos relativos ao tamanho do ecrã. De facto, as maiores limitações destes dispositivos centram-se no reduzido tamanho de ecrã e nos factores externos devidos à sua utilização em ambientes móveis, não só pela magnitude das diferenças, mas também devido a serem limitações que, pela própria definição de dispositivos móvel, não se perspectiva que desapareçam num futuro próximo. Assim, estas limitações indiciam que a construção e desenho de aplicações para estes dispositivos e, em particular as de visualização de informação, tenha em consideração estes aspectos.

2.2 Visualização de Informação

Alguns dos achados arqueológicos mais antigos correspondem a pinturas em cavernas, feitas possivelmente com o propósito de comunicação com outras pessoas, ou por motivos religiosos (Whitley, 2008) (Figura 2.3). Esta utilização das nossas capacidades visuais para transmitir ou processar ideias existe praticamente desde que existe inteligência, sendo bastante anterior à utilização da escrita.

Existe uma relação próxima entre aquilo que vemos e aquilo que pensamos. Qualquer que seja a actividade, o trabalho mental ou cognitivo está interligado com a nossa percepção das interacções com o mundo que nos rodeia (Card, Mackinlay e Shneiderman, 1999).



Figura 2.3. Arte rupestre em Vila Nova de Foz Côa³

A utilização de meios visuais pode ser utilizada para comunicar algo, sendo frequentemente mais útil e fácil de transmitir uma ideia por imagens do que por palavras. Por outro lado, podemos utilizar a nossa capacidade visual para conseguirmos resolver problemas lógicos, utilizando a “visão para pensar” (Bertin, 1981).

A chamada “Era da Informação” provocou um crescimento exponencial na quantidade de informação disponível para ser analisada. Simultaneamente, os avanços registados, do ponto de vista computacional e de processamento gráfico, permitiram que formas inovadoras de explorar e analisar esta informação fossem desenvolvidas para auxiliar este tipo de tarefas.

A visualização pode ser definida como o processo de converter dados, utilizando sistemas computacionais e interactivos, em representações visuais, de forma a potenciar a sua compreensão (Card, et al., 1999; Schroeder, Martin e Lorensen, 2006). Desta forma, o principal propósito da visualização é facilitar a um utilizador o entendimento dos dados representados, e não os dados em si (Bederson e Shneiderman, 2003).

A exploração das ferramentas computacionais na área da visualização começou inicialmente por ser utilizada para visualização de dados de áreas científicas (Figura 2.4). Esta área da visualização é denominada Visualização Científica tendo ganho relevância a partir de 1987 com a publicação de um relatório sobre Visualização na Computação Científica (McCormick, DeFanti e Brown, 1987).

A investigação na área da visualização foi alargada a outros domínios para os quais as representações associadas aos dados científicos não eram adequadas, surgindo a designação de

³ Imagem cedida por Henrique Matos via Wikimedia Commons

Visualização de Informação e novas técnicas de visualização (Robertson, Mackinlay e Card, 1991).

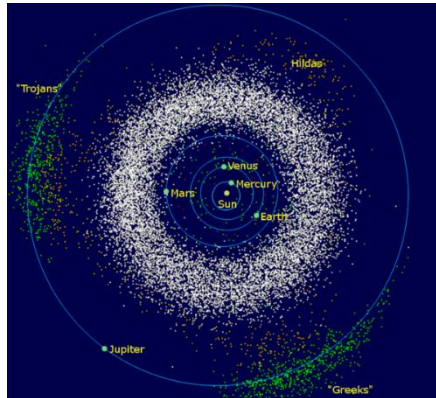


Figura 2.4. Exemplo de visualização científica – modelo do sistema solar interior⁴

Assim, apesar de existir alguma sobreposição entre as duas áreas, a Visualização Científica diz normalmente respeito à representação de objectos ou grandezas físicas, enquanto a Visualização de Informação é uma área que se dedica ao estudo do modo como um determinado conjunto de dados abstractos (possivelmente extenso) podem ser apresentados aos utilizadores. A visualização de informação utiliza representações visuais interactivas, obtidas com suporte computacional, para que a sua compreensão dos dados seja eficiente, e ao mesmo tempo tentando reduzir a carga cognitiva associada a essa tarefa (Spence, 2007).

O processo de visualização consiste na sequência de operações que manipulam um conjunto de dados, de forma a produzir as imagens necessárias para permitir ao utilizador a compreensão dos dados originais. Assim, as etapas sequenciais, que vão manipulando os dados até produzir as imagens finais são, tipicamente: a aquisição dos dados, a filtragem, o mapeamento e a renderização das imagens visualizadas pelo utilizador (Telea, 2014).

Este processo pode ser observado na Figura 2.5 e será, de seguida, descrito brevemente.

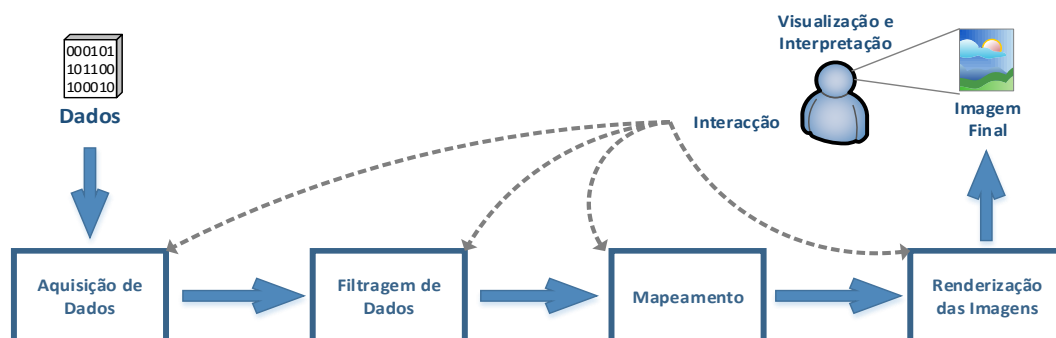


Figura 2.5. Processo de Visualização

⁴ Imagem cedida por Mdf via Wikimedia Commons

Aquisição de Dados - Como é possível visualizar na Figura 2.5, a primeira etapa diz respeito à obtenção dos dados. Nesta etapa irão ser obtidos os dados originais, utilizando fontes externas ou fontes de dados em tempo real e, se necessário, estes são convertidos para um formato diferente do original, que facilite as etapas seguintes.

Filtragem de Dados - Após terem sido obtidos, os dados são manipulados de forma a integrar informação de alto nível que permita suportar a tarefa actual e é feita uma filtragem que permita extrair, do conjunto total de dados, apenas os mais relevantes. Deste modo, é possível reduzir a quantidade de informação considerada para as etapas seguintes, facilitando o tratamento de grandes quantidades de dados.

Mapeamento - Depois da etapa de filtragem ter reduzido a quantidade de informação de forma a conter apenas a relevante para a tarefa actual, é necessário que estes dados sejam mapeados com elementos do domínio visual e que as características destes elementos, tais como, por exemplo, a cor, posição ou tamanho, sejam escolhidas de acordo com a respectiva informação.

Renderização das Imagens - Na etapa de renderização é utilizado o mapeamento obtido na etapa anterior e, utilizando diversos parâmetros de visualização (tipicamente escolhidos pelo utilizador) são produzidas as imagens finais, apresentadas ao utilizador.

Apesar do processo descrito servir para gerar uma visualização a partir dos dados originais, é importante considerar que este não tem que ser um processo linear e estático. De facto, para que a interpretação dos dados, pelo utilizador, seja útil, é frequentemente necessária a utilização de mecanismos que permitam ao utilizador interagir com cada uma das etapas, de modo a gerar novas visualizações. A integração de mecanismos de interacção possibilita a criação de visualizações mais dinâmicas, através quais o utilizador pode navegar por diferentes subconjuntos de dados, e alterar a forma como os visualiza, permitindo uma melhor compreensão dos dados originais.

A visualização de informação em dispositivos móveis utiliza o mesmo processo de visualização descrito acima. No entanto, as diversas limitações existentes neste tipo de dispositivos, descritas na secção anterior, impõem restrições em algumas das etapas do processo de visualização.

A menor capacidade de processamento e memória, dos actuais dispositivos móveis, limita a utilização de técnicas demasiado exigentes, do ponto de vista computacional, em todas as quatro

etapas. No entanto, devido à evolução dos dispositivos e às suas capacidades de conectividade através de redes de dados móveis, estas limitações têm-se vindo a atenuar.

Em sentido inverso, as limitações impostas pelo tamanho do ecrã e as inerentes à utilização num ambiente móvel continuam presentes e são as que impõem as maiores restrições, impondo alterações sobretudo às etapas de filtragem, mapeamento e renderização.

Assim, apesar da fase de filtragem ser importante para a visualização de informação, independentemente do meio utilizado, quando considerada em dispositivos móveis torna-se uma etapa fundamental no processo de visualização. A escolha da quantidade adequada de dados a representar num ecrã de pequena dimensão é fulcral para uma boa compreensão dos dados apresentados, por parte do utilizador. De facto a existência de informação excessiva irá dificultar a sua leitura e, potencialmente, tornar-se uma fonte de distrações desnecessárias, e informação a menos poderá levar os utilizadores a fazer as escolhas erradas (Chittaro, 2006).

Do mesmo modo, as distrações intrínsecas à utilização de um dispositivo em ambientes móveis, com características diversas, obriga a um cuidado especial no mapeamento entre os dados e os elementos visuais. Este mapeamento deverá ser consistente ao longo da utilização de uma aplicação e, simultaneamente, deve realçar os aspectos mais relevantes a visualizar, de uma forma fácil de compreender por um determinado utilizador, na tarefa que este esteja a desempenhar.

Por último, a escolha dos parâmetros da visualização, utilizados na etapa de renderização, deve também tomar em consideração as limitações relativas ao ecrã do dispositivo e às provenientes da sua utilização em ambientes com diferentes contextos envolventes, nomeadamente ao nível da luminosidade. Assim, a escolha dos parâmetros a utilizar deve ser adequada a esta diversidade de situações, por exemplo aumentando o brilho e contraste para fazer face a uma luminosidade ambiente forte, ao mesmo tempo que promove uma utilização energética razoável, não desperdiçando a bateria do dispositivo, quando tal é dispensável.

A resolução dos problemas inerentes à apresentação de uma grande quantidade de informação é um tópico que não é recente, e que não diz respeito apenas à utilização em ambientes móveis. Como exemplo, o trabalho de Furnas (1986), o qual, para fazer face à apresentação de estruturas grandes, em janelas de dimensão reduzida, faz uma analogia com as lentes de “olho-de-peixe” que permitem um balanço entre os detalhes locais e o contexto global. Furnas introduz o conceito de função de grau de interesse, permitindo associar a cada objecto um valor que descreve o interesse que o utilizador tem na sua visualização. Na mesma linha, no trabalho de Keim e Kriegel (1994), que criam o sistema VisDB, é utilizada uma função que combina o interesse do utilizador

em cada um dos diferentes atributos da pesquisa, e possibilita a atribuição de um factor de ponderação a cada um.

A quantificação do interesse do utilizador para cada objecto abre caminho à criação de mecanismos de filtragem que possam reduzir simultaneamente o volume de objectos a representar e, ao mesmo tempo, aumentam a relevância, para o utilizador, dos objectos apresentados. No entanto, apesar da existência de trabalhos que lidam com os modos de se visualizar conjuntos extensos de informação, a utilização destas técnicas, desenvolvidas com o foco em computadores com ecrãs de maior dimensão, não resolve totalmente os problemas associados à visualização em dispositivos móveis.

Num ambiente de mobilidade, a elevada variabilidade do contexto no qual um utilizador tenta visualizar a informação presente no dispositivo origina problemas que não podem ser resolvidos de forma estática e independente da situação do utilizador. Assim, para que a visualização de informação em dispositivos móveis seja eficaz, é necessário adaptar, dinamicamente, a visualização ao contexto actual do utilizador, de modo a facilitar a sua compreensão da informação apresentada.

Para este fim, a utilização de novas fontes de informação, disponíveis através dos sensores presentes nos dispositivos móveis, tem o potencial de permitir conhecer a situação actual do utilizador e adaptar a informação apresentada, tendo em conta o contexto actual.

2.3 Aplicações Baseadas na Localização

As primeiras aplicações a efectuar, de forma dinâmica, uma adaptação ao contexto apresentavam uma visualização adaptada à localização do utilizador. Nesta secção irão ser apresentados, de forma breve, os primeiros sistemas de visualização de informação, adaptados a este contexto.

Com a entrada em funcionamento de sistemas de posicionamento global, como o americano GPS (Global Positioning System), e a sua disponibilização ao público em geral, foram criadas condições para o aparecimento dos primeiros sistemas de posicionamento pessoal que permitiam ao utilizador determinar as suas coordenadas terrestres (latitude, longitude e altitude). Estes primeiros sistemas, como por exemplo o GPS 100 da Garmin ou o Magellan NAV 1000 (Wolpin, 2014) tinham ecrãs muito simples, nos quais se apresentava apenas informação textual acerca da localização obtida (Figura 2.6).

Como tal, a sua utilização era direccionada, principalmente, a utilizadores com alguns conhecimentos de cartografia e habituados à utilização e leitura de mapas. Por este facto, este tipo de dispositivos começaram por ser dedicados, principalmente, a actividades de navegação, tanto aérea como marítima, ou actividades de exploração terrestre.



Figura 2.6. Dispositivo com GPS integrado, vocacionado para utilização marítima⁵

Com a melhoria da capacidade gráfica dos dispositivos surgiu a oportunidade de integração da informação (textual) acerca da localização do utilizador, com a sua representação visual, na forma de mapas, originando os primeiros sistemas de visualização de dados georreferenciados. Desta forma, foi possível alargar a utilização de aplicações de posicionamento a utilizadores sem experiência na leitura e utilização de coordenadas.

Inicialmente, devido a limitações de bateria e tamanho, as aplicações de visualização de dados georreferenciados focaram-se maioritariamente nas aplicações de navegação automóvel, como por exemplo, os sistemas da TomTom (TomTom, 2015) (Figura 2.7). Nestas aplicações é possível ao utilizador escolher um destino e obter informações, passo a passo, sobre a melhor forma de lá chegar, ao mesmo tempo em que visualiza um mapa do local onde se encontra e indicações do caminho a percorrer.

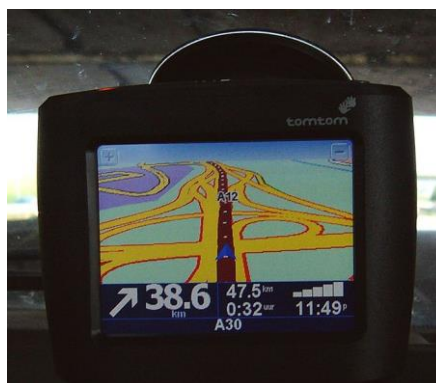


Figura 2.7. Sistema de navegação automóvel, TomTom One⁶

Com o aparecimento de telemóveis com GPS integrado, e a sua generalização, surgiram também as primeiras aplicações baseadas na localização, para este tipo de dispositivos.

⁵ Imagem cedida por Nachoman-au via Wikimedia Commons

⁶ Imagem cedida por Kliek via Wikimedia Commons

Inicialmente estas aplicações eram apenas versões, mais simples, das já existentes para navegação automóvel. No entanto, devido às capacidades de comunicação existentes nos telemóveis, e inexistentes, à altura, nos sistemas dedicados, tornou-se possível a integração com outras fontes de dados, e consequentemente o aparecimento de diversos serviços (LBS – Location Based Services) baseados na localização do utilizador. Exemplos deste tipo de aplicações incluem sistemas de apresentação e pesquisa de pontos de interesse na proximidade do utilizador, jogos baseados na localização e guias turísticos, entre outros.

Um dos domínios com maior popularidade foi o dos guias turísticos, tais como o GUIDE (Cheverst, Davies, Mitchell e Friday, 2000) e o Cyberguide (Abowd et al., 1997), que permitiam, a um turista, visualizar automaticamente informação acerca dos monumentos e pontos de interesse em seu redor.

A integração da informação relativa à posição do utilizador e a sua utilização num diverso espectro de aplicações, permitiu agilizar o modo como os utilizadores pesquisam e visualizam a informação georreferenciada contida nestas aplicações, filtrando-a de modo a apresentar apenas a relevante para o local actual. No entanto, paralelamente ao aparecimento e generalização das aplicações baseadas na localização, houve também um aumento significativo da quantidade de informação disponível. Desta forma, apesar de permitir minimizar alguns dos problemas da visualização de informação em dispositivos de ecrã reduzido, a utilização apenas da informação posicional não resolve totalmente este problema (Pombinho et al., 2009b). Deste modo, utilizando as funcionalidades oferecidas pelos actuais dispositivos móveis, é essencial que sejam exploradas novas formas de adaptação, não apenas referentes à informação sobre o posicionamento do utilizador, mas também a outros tipos de informação contextual que descrevam de forma mais completa a situação actual do utilizador.

2.4 Visualização Adaptável e Visualização Adaptativa

Como apresentado na secção anterior, as aplicações de visualização baseada na localização do utilizador permitem minimizar os problemas da visualização em dispositivos com ecrãs de pequena dimensão, ao reduzir a quantidade de informação, mantendo aquela que é relevante para a localização actual. Assim, este tipo de sistemas adaptam a informação a apresentar, de acordo com o contexto posicional do utilizador. Desta forma, é possível classificar este tipo de sistemas como aplicações adaptáveis à localização.

A melhoria das capacidades de comunicação dos dispositivos móveis, bem como a integração, cada vez mais generalizada, de diferentes sensores (como magnetómetros, acelerómetros, entre outros) permite, aos actuais dispositivos, a obtenção de um conjunto progressivamente maior de contextos.

Um exemplo da adaptação da visualização a diferentes contextos, que não apenas a localização, pode ser visto no trabalho proposto por Nivala e Sarjakoski (2007), no qual a simbologia utilizada para apresentar a informação sobre um mapa, é adaptada de acordo com a idade do utilizador, língua, actividade, hora e altura do ano, permitindo, deste modo, a escolha da simbologia mais adequada a cada utilizador.

Assim, do mesmo modo que a informação acerca da localização dos utilizadores permite a adaptação da visualização e consequente melhoria da usabilidade destes sistemas, também a utilização de outros tipos de contextos pode melhorar a experiência de utilização e a redução da carga cognitiva sobre os utilizadores. Desta forma, generalizando, podemos-nos referir a este tipo de aplicações como sendo **adaptáveis ao contexto**.

No caso das aplicações de visualização adaptadas ao contexto, apesar de estas permitirem um maior controlo sobre a informação a visualizar, adaptada aos diferentes contextos em que o utilizador se encontra, nem sempre a sua utilização é intuitiva e fácil. De facto, apesar de este tipo de aplicações permitir a diminuição e/ou simplificação da informação visualizada, com o objectivo de minimizar a carga cognitiva sobre o utilizador, pode ter o efeito inverso e aumentá-la devido à necessidade de interacção da parte do utilizador para efectuar as adaptações.

Em 2008, Reichenbacher distingue entre as aplicações de **visualização adaptada ao contexto**, onde são fornecidas ferramentas ao utilizador para que este possa alterar as características da visualização apresentada, e **visualização adaptativa**, onde estas características de visualização são automaticamente adaptadas utilizando informação sobre os actuais contextos de uso. Desta forma, o objectivo principal das aplicações de visualização adaptativa de informação deverá ser a apresentação, em cada instante, da informação mais relevante para o utilizador, fazendo-o de uma forma adaptada às condições actuais, para que esta seja apresentada de forma mais perceptível.

As aplicações adaptativas têm, assim, o potencial de “esconder” parte da interacção, tornando a adaptação da visualização aos diferentes contextos transparente para o utilizador e permitindo reduzir alguma da carga cognitiva inerente à utilização de aplicações de visualização de informação em ambientes de mobilidade.

No entanto, para que este processo seja possível, é fundamental explorar a utilização de outros tipos de informação contextual que não apenas a localização, permitindo o estudo de novas formas de minimização das limitações existentes na visualização em dispositivos móveis. De igual forma, é necessário estruturar as aplicações de visualização adaptativa de informação de forma a permitir gerir e relacionar informação de um conjunto enriquecido de contextos de uso com os diferentes métodos com que se pode adaptar os diversos componentes da visualização.

2.5 Sumário e Discussão

Neste capítulo foi feito um enquadramento sobre alguns dos conceitos que irão ser utilizados nesta tese, nomeadamente, identificou-se as principais características dos dispositivos móveis e respectivas limitações; o que se entende por visualização de informação e os principais desafios colocados pelos contextos móveis; características das aplicações baseadas na localização do utilizador e a generalização destas utilizando outros contextos que não apenas a localização, de modo a compreender as suas actuais limitações.

Apesar das evoluções significativas nas capacidades dos dispositivos móveis, estes continuam a impor algumas restrições no desenvolvimento de aplicações de visualização de informação. É pois necessário explorar novas técnicas de adaptação e adequar as actuais técnicas de visualização de modo a que estas usufruam das novas fontes de informação contextual passíveis de serem obtidas num ambiente de mobilidade.

A proposta de novas técnicas de visualização é essencial para a resolução de alguns dos problemas existentes nas aplicações de visualização para dispositivos móveis. Por outro lado, a diversidade de novas fontes de informação contextual e das respectivas técnicas de visualização, implica que a organização das aplicações deva ser estudada, de forma a se adequar às experiências e limitações apresentadas nestes dispositivos.

No próximo capítulo apresentar-se-ão algumas das propostas de investigação, relevantes para o tema das aplicações de visualização adaptativa, nomeadamente sobre os diferentes contextos existentes numa situação de mobilidade e os objectos que podem ser adaptados. Irão também ser abordados alguns trabalhos que exploram diferentes modelos de organização para este tipo de aplicações.

Capítulo 3

Componentes de um Sistema de Visualização Adaptativa

Como apresentado no capítulo anterior, as aplicações móveis de visualização adaptativa (VA) têm o potencial de minimizar alguns dos problemas associados à dificuldade de utilização deste tipo de aplicações num suporte móvel.

Este capítulo apresenta as aproximações de investigação mais relevantes no domínio da VA em dispositivos móveis. Deste modo, na secção 3.1 irão ser apresentadas as categorizações dos contextos existentes e, na secção 3.2, dos objectos de adaptação, de modo a se compreenderem quais os principais componentes de um sistema de visualização adaptativa e quais as propostas mais relevantes nesta área. Na secção 3.3 serão descritas algumas propostas de modelos de organização de sistemas de VA. Na secção 3.4 são apresentados diferentes critérios de classificação deste tipo de sistemas, que serão utilizados, na secção 3.5, para comparar os sistemas anteriormente descritos. Por último, na secção 3.6, será feito um sumário e conclusão a este capítulo.

3.1 Categorizações dos Contextos em Ambiente Móvel

Existem diversos trabalhos que exploram os conjuntos de contextos que podem ser relevantes para um utilizador num ambiente móvel. Apesar destes trabalhos sugerirem diferentes nomenclaturas ou mapeamentos dos contextos e objectos associados a cada categoria, existem algumas semelhanças entre eles. O objectivo desta secção é compreender as diversas propostas de modo a extrair o conjunto de contextos essenciais a considerar na concepção e desenho de aplicações de VA móveis.

Schilit, Adams e Want (1994) sugeriram que as diferentes dimensões de contextos de uso fossem divididas em três categorias: Contexto Computacional (por exemplo, conectividade à rede ou largura de banda), Contexto do Utilizador (por exemplo, perfil do utilizador e localização) e

Contexto Físico (por exemplo, níveis de luminosidade e temperatura). Chen e Kotz (2000) propuseram duas categorias adicionais: Contexto Temporal (por exemplo, a hora e data) e um Contexto Histórico (por exemplo, registos históricos de pesquisas anteriores).

No projecto GiMoDig (Nivala e Sarjakoski, 2003), foi efectuado um estudo de usabilidade sobre a exploração de diferentes contextos de uso em mapas. Após analisar os resultados os autores identificaram diversos contextos e categorizaram-nos nas cinco categorias propostas nos trabalhos referidos acima.

Predic, Stojanovic e Djordjevic-Kajan (2006) sugeriram três categorias distintas: Características Técnicas do Ambiente (as especificações do dispositivo e da sua conectividade), Características Lógicas do Ambiente do Utilizador (a localização do utilizador e a identificação de objectos e pessoas na sua proximidade) e Características Físicas do Ambiente do Utilizador (por exemplo, os níveis de luz e ruído).

Huang e Gartner (2009) exploraram diferentes contextos e sugerem cinco categorias: Contextos do Utilizador (onde estão contidas as informações físicas e mentais do utilizador, por exemplo as suas preferências ou limitações físicas), Contexto da Tarefa (que descreve a tarefa actual a ser executada pelo utilizador), Contexto Social (descreve as características sociais do utilizador), Contexto do Artefacto (que contém informação sobre as aplicações e sobre o dispositivo) e, finalmente, o Contexto Ambiental (que contém informação sobre o ambiente físico, hora e data).

Desertot, Lacomte, Popovici, Thiliez e Delot (2010) sugeriram quatro categorias de contextos, relacionadas com a gestão dos serviços no domínio dos transportes: Contexto do Dispositivo (as especificações de software e hardware do dispositivo), Contexto de Execução (composto pelos contextos de execução dinâmicos, dos diferentes serviços), Contexto Ambiental (contendo a localização do utilizador, e níveis de luz e ruído) e o Contexto do Utilizador (no qual são armazenadas as preferências do utilizador).

Hofer et al. (2002) dividiram os contextos em duas categorias distintas: Contexto Físico, representando todos os contextos concretos que são obtidos através dos sensores físicos, e o Contexto Lógico, que representa a informação mais abstracta.

Uma categorização semelhante é proposta por Prekop e Burnett (2003) utilizando, no entanto, outras designações: Contextos Internos e Externos. Os primeiros são especificados directamente pelo utilizador, ou capturados através da sua interacção, enquanto os segundos são capturados através de sensores físicos.

Por último, Han, Jyri, Ma e Yu (2008) sugeriram uma divisão em três categorias: Contextos Físicos, consistindo nas características físicas dos objectos no ambiente envolvente; um Contexto

Interno composto por entidades abstractas (pessoas, tarefas, emoções, entre outras); e um Contexto Social no qual estão incluídas as relações entre o utilizador e outras pessoas.

A comparação entre as categorizações propostas, analisando as diferenças e semelhanças, irá ser apresentada em mais detalhe na secção 4.1, servindo de base para a categorização proposta neste trabalho e utilizada posteriormente.

Na secção seguinte irá ser apresentado o trabalho relacionado com o modo de categorizar os diferentes objectos de adaptação existentes em aplicações de visualização em ambientes móveis.

3.2 Categorizações dos Objectos de Adaptação

De modo a compreender e desenhar, na totalidade, o processo de adaptação da visualização é necessário analisar quais os objectos que podem ser adaptados. Nesta secção descrevem-se os trabalhos mais relevantes que apresentam categorizações neste domínio.

Apesar de ter o foco na cartografia, Reichenbacher (2008) refere que os objectos de adaptação são todos os elementos que podem ser alterados pelo utilizador ou pela aplicação, de acordo com os diferentes contextos de uso. O autor propõe a divisão em três diferentes categorias: Objectos de Visualização (por exemplo, o estilo do mapa ou a posição e tamanho dos elementos gráficos), Interface do Utilizador (por exemplo, quais as funções do mapa que estão disponíveis em cada momento) e a Informação Geoespacial (quantidade de dados georreferenciados representados, e qual a área a que se referem).

Em 2006, Predic et al., agrupam as potenciais adaptações em três categorias distintas: Apresentação de Informação e Serviços (na qual se incluem as adaptações feitas à informação e ao modo como esta é apresentada, e também aos serviços que estão disponíveis), Execução Automática de Comandos (por exemplo, recalculer um percurso quando se identifica que um utilizador falhou uma saída no seu caminho) e Armazenamento de Informação Contextual (que permite que a aplicação extraia as preferências do utilizador de forma automática).

Apesar das duas categorizações apresentadas parecerem seguir abordagens ligeiramente diferentes (i.e. uma mais relacionada com o tipo de cada objecto, e a outra com os diferentes tipos de adaptação), estas têm, parcialmente, algumas semelhanças. Assim, a categoria de Apresentação de Informação e Serviços tem uma relação próxima com a categoria de Visualização, a Execução Automática de Comandos refere-se parcialmente à Interface do Utilizador e, até certo ponto, o Armazenamento de Informação Contextual inclui a Informação Geoespacial.

Nesta tese será seguida uma abordagem inspirada na classificação proposta por Reichenbacher, mas generalizando a sua abordagem para além da cartografia.

3.3 Organização de Aplicações Adaptativas

A categorização dos contextos existentes e dos objectos a adaptar é importante para tornar possível a identificação dos principais componentes de um sistema de VA. No entanto, é igualmente importante perceber de que forma estes componentes se podem relacionar nos diferentes sistemas. De seguida irão ser descritos alguns trabalhos relevantes que descrevem a organização de aplicações de VA.

Apesar de focada na cartografia e de não estar concretizada, uma das primeiras propostas sobre a organização geral de um sistema de visualização adaptativa é feita por Reichenbacher (2001) que sugere um esboço de uma *framework* conceptual para a adaptação da visualização de informação cartográfica em ambientes móveis. Na organização sugerida, o autor identifica como elementos principais, responsáveis pela adaptação da visualização (Figura 3.1 - setas mais escuras): o utilizador, o contexto e a tarefa actual. Assim, segundo Reichenbacher, o conhecimento, preferências e capacidades do utilizador permitem personalizar a visualização, ao mesmo tempo que o contexto (nomeadamente a localização) e a tarefa actual controlam a visualização.

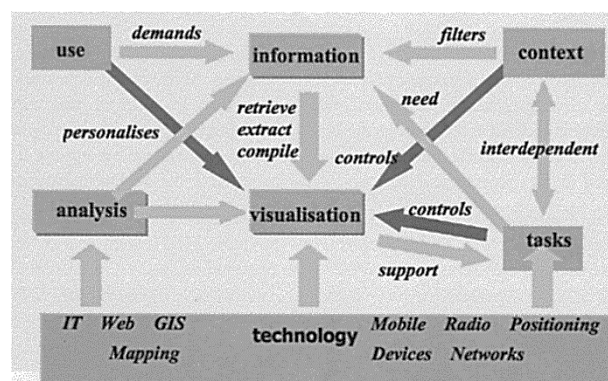


Figura 3.1. *Framework* conceptual de cartografia móvel (Reichenbacher, 2001)

Baldauf, Dustdar e Rosenberg (2007) efectuaram um estudo em que analisaram diversos sistemas móveis adaptados ao contexto e verificaram que a grande maioria destes é organizado através de camadas. Estas, apesar de variarem entre os diferentes sistemas, por exemplo ao nível das funcionalidades, localização e nomenclatura, podem ser organizadas numa arquitectura semelhante (Figura 3.2).

Deste modo, a camada inferior é constituída por um conjunto de diferentes sensores ou fontes de dados que possam fornecer informação contextual e a camada seguinte é responsável pela obtenção da informação contextual, sendo constituída pelos *drivers* e pelas API necessárias à comunicação com o nível inferior. A camada de “Pré-processamento”, a qual pode não existir em todos os sistemas, é responsável pela extracção de informação potencialmente mais útil, ao

agregar a informação de diferentes contextos. A camada de “Armazenamento e Gestão” tem como responsabilidade a organização dos contextos obtidos e a sua disponibilização às aplicações através de interfaces públicas. Por último, a camada superior consiste na implementação das aplicações que utilizam a informação contextual das camadas inferiores.

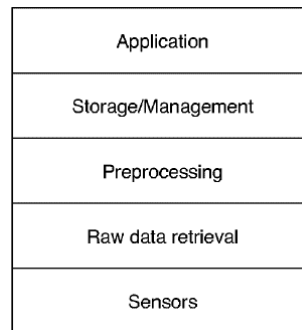


Figura 3.2. Camadas comuns nos sistemas adaptados ao contexto (Baldauf et al., 2007)

Uma das primeiras propostas, concretizadas, de organização de sistemas adaptáveis ao contexto, é descrita em 2004, por Fahy e Clarke que propõe o CASS (Figura 3.3), um *middleware* baseado em servidores para aplicações adaptáveis ao contexto, para dispositivos móveis, como forma de minimizar os problemas relativos à capacidade computacional dos dispositivos de pequenas dimensões.

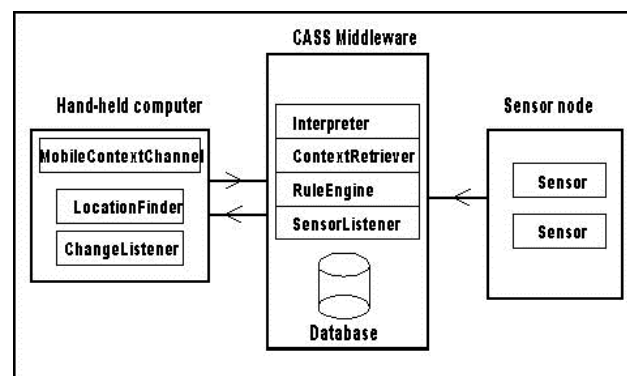


Figura 3.3. Arquitectura CASS (Fahy e Clarke, 2004)

Apesar de não se focar na visualização, o sistema CASS é relevante por ser dos primeiros a propor a utilização de uma abstracção de contextos de alto nível derivados de informação obtida com diferentes sensores. Desta forma, o *middleware* é responsável por obter e interpretar a informação dos diferentes sensores disponíveis e gerar novos contextos agregando esta informação, comunicando-os, de seguida, ao dispositivo. Este sistema fornece também ferramentas para a utilização de um histórico de contextos.

Relativamente a propostas de organizações de aplicações de VA móvel, existem alguns trabalhos relevantes, que serão classificados e comparados na secção 3.4.

Tonder e Wesson (2008) propõem o modelo Proteus que incorpora uma interface adaptativa no desenho de um sistema de visualização de mapas para dispositivos móveis (Figura 3.4). Este modelo consiste em quatro componentes principais: um “Modelo de Dados” que contém a informação que será apresentada no sistema; uma “Base de Conhecimento” que gere e obtém os quatro tipos de contexto (nomeadamente Perfil do Utilizador, Tarefa, Hora e Localização), e que permite a utilização de regras simples de agregação destes contextos; uma “Componente de Modelação e Monitorização do Utilizador”, que é responsável por aceitar os dados da interacção com o utilizador, para tentar determinar automaticamente as suas preferências e o seu comportamento; e, finalmente, o “Motor de Adaptação” que gere as adaptações à visualização (representações visuais, nível de detalhe, nível de ampliação), à informação (tipo de filtragem) e à interface (opções no menu).

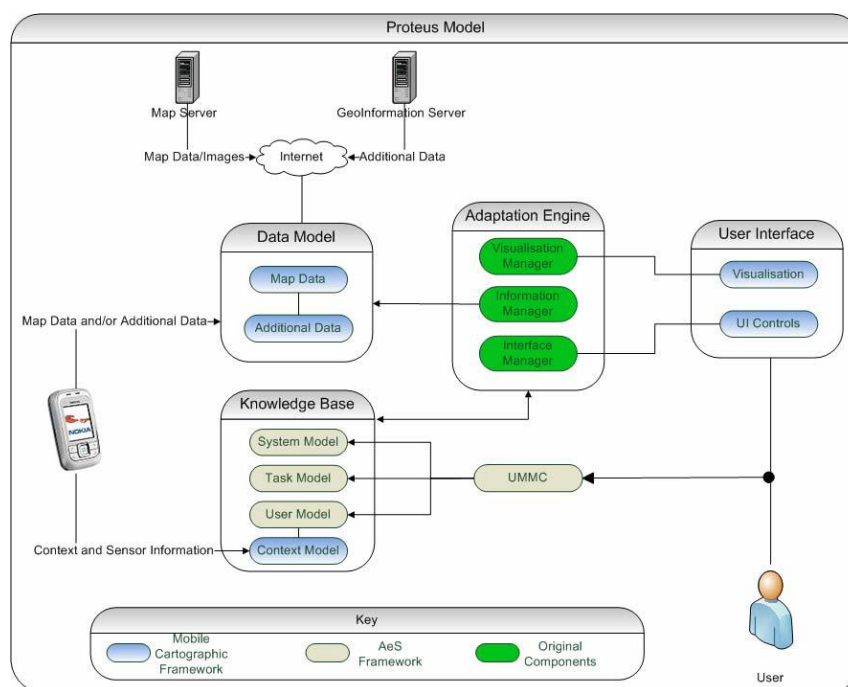


Figura 3.4. Arquitectura do modelo Proteus (Tonder e Wesson, 2008)

Panagiotakopoulos e Lymberopoulos, (2008) descrevem a plataforma, designada por Active Context-Aware Framework, adaptável ao contexto, para monitorização de pacientes que sofrem de fobias (Figura 3.5). Foi criado um modelo de contexto baseado em ontologias, que utiliza um conjunto diverso de contextos para ser capaz de fornecer um conjunto completo de dados que descreva a actual situação do doente.

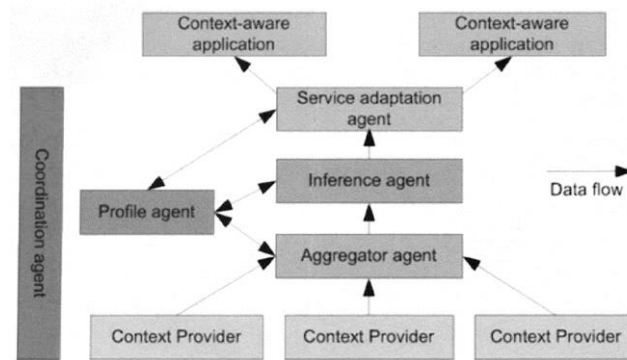


Figura 3.5. Active Context-Aware Framework (Panagiotakopoulos e Lymberopoulos., 2008)

A organização proposta é constituída por seis componentes principais: “Fornecedores de Contexto” que são responsáveis por obter a informação sobre os diferentes contextos através de sensores e de fontes externas; um “Agente Agregador” que junta toda a informação obtida pelos diferentes fornecedores de contexto e analisa qual a informação útil; um “Agente de Inferência” que interpreta a informação dos componentes anteriores para gerar contexto de alto nível; um “Agente de Perfil” responsável por gerir a informação de perfil dos pacientes; um “Agente de Adaptação do Serviço” que interroga os dois anteriores componentes para decidir que acções devem ser tomadas; e, finalmente, um “Agente de Coordenação do Serviço” responsável por gerir a comunicação entre os diferentes agentes presentes na infra-estrutura de *software*.

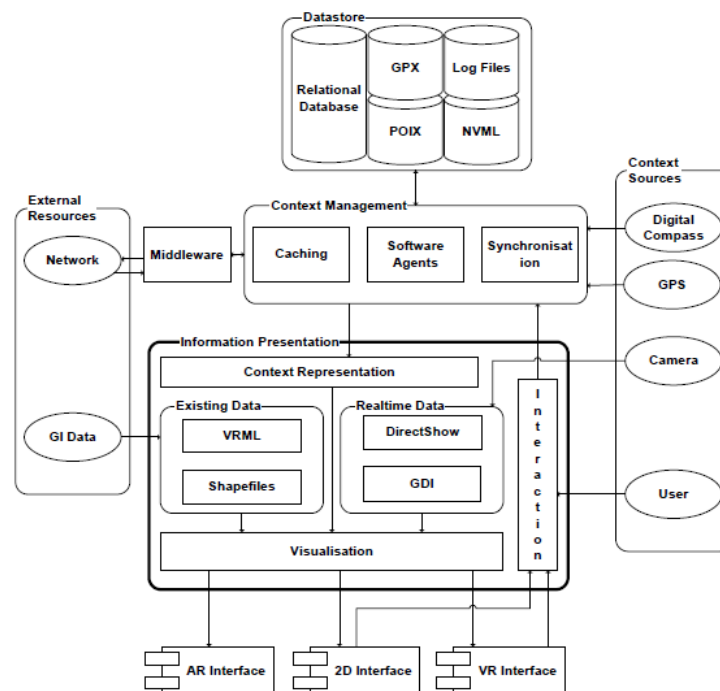


Figura 3.6. Modelo proposto por Papakonstantinou e Brujic-Okretic (2009)

Papakonstantinou e Brujic-Okretic (2009) propõem uma *framework* para sistemas de entretenimento pervasivo que utiliza informação sobre o contexto do utilizador em tempo real (Figura 3.6).

A organização é composta por dois módulos principais. O “Sistema de Gestão de Contexto” é responsável por receber e agregar a informação das diferentes fontes de contextos e, utilizando esta informação, manter actualizado o modelo geométrico utilizado pela aplicação. O “Sistema de Apresentação da Informação” é responsável pelas alterações na visualização que reflectam as alterações efectuadas no sistema de gestão de contexto, bem como gerir a interacção, explícita, com o utilizador. Este sistema introduz a possibilidade de se filtrarem algumas das variáveis de contexto, que originem situações de ambiguidade, através da utilização do conhecimento de qual a origem da informação contextual (se obtida por sensores, se inferida ou se fornecida explicitamente).

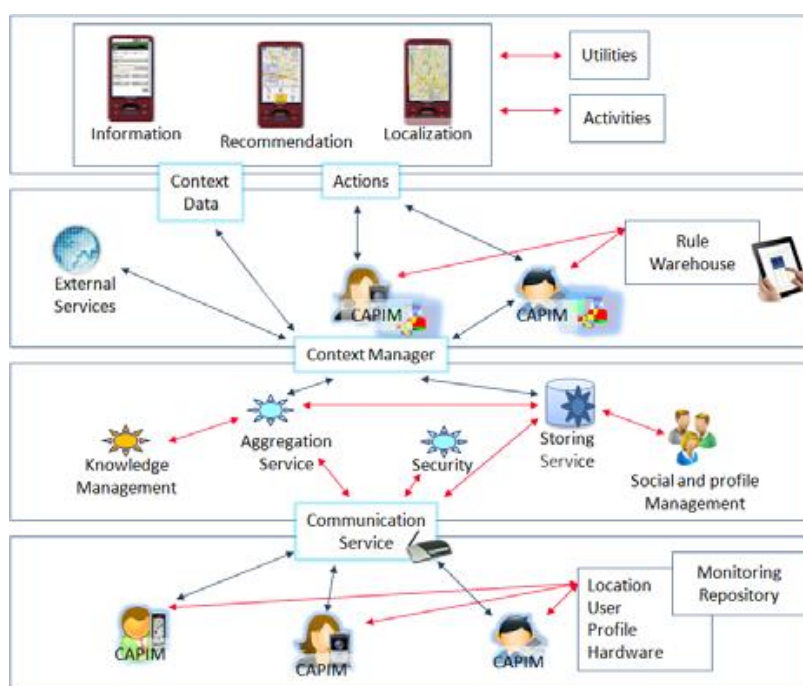


Figura 3.7. Plataforma CAPIM (Dobre, 2011)

Dobre (2011) descreve a plataforma CAPIM (Context Aware Platform using Integrated Mobile services) (Figura 3.7). Esta plataforma utiliza um modelo genérico de contexto e propõe uma arquitectura com quatro camadas distintas. A camada inferior é responsável por obter a informação sobre os contextos e inclui um conjunto de serviços de monitorização responsáveis por cada um dos contextos considerados. A camada seguinte é responsável por gerir e armazenar os contextos da camada inferior e por agregar estes em novos contextos, e contém também módulos responsáveis por garantir a segurança e filtrar a informação obtida dos contextos. A terceira camada contém as regras de execução adaptável ao contexto e, por último, a camada superior contém a visualização e interacção com o utilizador.

Por último, a *framework* Dynamix (Figura 3.8), proposta por Carlson e Schrader (2011), foi implementada como um serviço de *middleware* que corre no dispositivo móvel, utilizando o próprio dispositivo para a obtenção dos contextos. As aplicações desenvolvidas para utilizar o Dynamix são aplicações desenvolvidas para o sistema Android, que incorporam funcionalidades de modelação do contexto fornecidas pelo serviço Dynamix local. Esta *framework* inclui ainda uma *firewall* de contexto, que permite ao sistema garantir a privacidade do utilizador, ao gerir quais os contextos que podem ser disponibilizados a cada aplicação.

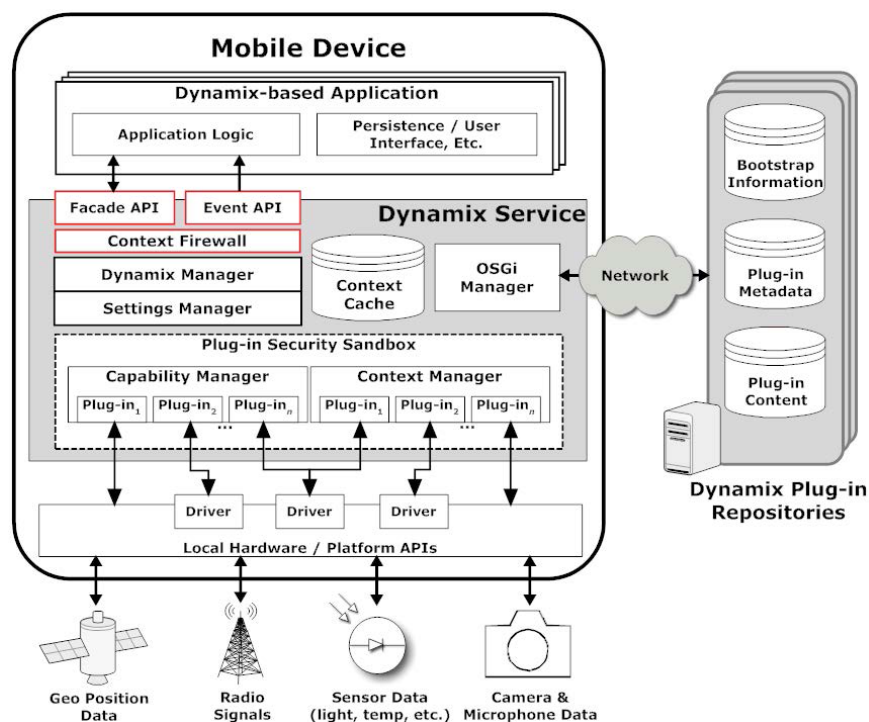


Figura 3.8. *Framework* Dynamix (Carlson e Schrader, 2011)

De modo a comparar as características destes sistemas, apresentar-se-ão, na secção seguinte, trabalhos que propõem classificações para os sistemas de VA móvel.

3.4 Classificação de Sistemas de Visualização Adaptativa

Apesar da descrição das propostas de organizações para os sistemas de VA revelar sistemas bastante distintos, é útil tentar perceber quais as semelhanças entre estes, e de que forma estes podem ser classificados, para que seja possível ter uma melhor compreensão das suas capacidades e limitações.

Nalepa e Bobek (2014) classificam os sistemas de acordo com o modo como são obtidos os diferentes contextos, e o modo como estes são disponibilizados às aplicações. Assim, propõem quatro categorias de sistemas: sistemas com “Acesso Directo aos Sensores”, que correspondem

ao tipo mais simples de sistemas, e no qual as aplicações acedem directamente aos sensores físicos, sem necessidade de intermediários; “Infra-estruturas de *Middleware*” que incorporam uma camada adicional para encapsular a camada de acesso aos sensores e permitir uma mais fácil reutilização dos módulos desenvolvidos; “Arquitecturas Orientadas a Serviços” que permitem a criação de sistemas de grande escala com menor interligação entre os módulos, e tipicamente utilizada em ambientes pervasivos com fontes de contexto muito diversas; e, por último, arquitecturas com “Servidores de Contexto Centralizados” nas quais uma entidade age como um servidor de contexto, responsável pela obtenção da informação contextual e o processamento desta.

Bellavista, Corradi, Fanelli e Foschini (2013) propõem uma classificação dos sistemas, relativamente ao modo como estes gerem os contextos (Figura 3.9). Assim, estes são classificados dependendo do modo como os contextos são representados e do tipo de processamento disponível para a gestão dos contextos.

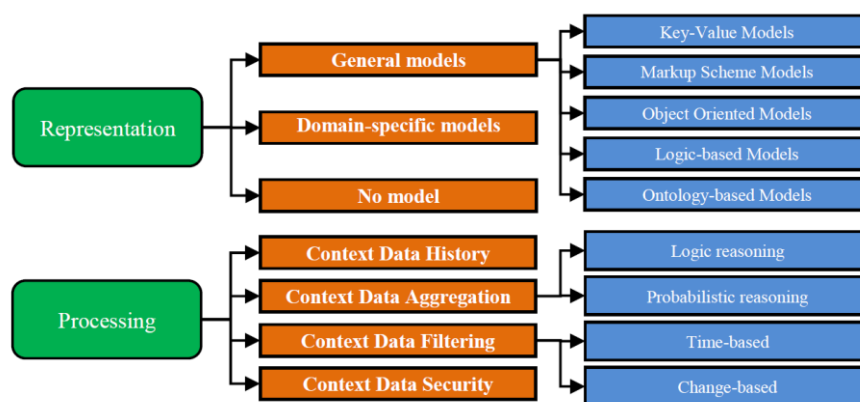


Figura 3.9. Taxonomia de classificação da gestão dos contextos (Bellavista et al., 2013)

Relativamente ao modo de representação, os sistemas são classificados tendo em conta a existência, ou não, de uma modelação dos diferentes contextos. Assim, existem três tipos de sistemas: sistemas “Sem Modelo” de representação dos contextos; Sistemas com “Modelos Específicos do Domínio” que são criados apenas com um foco específico; e sistemas com “Modelos Gerais” que são criados tendo em vista a sua utilização em diferentes aplicações e domínios. No último caso, são ainda diferenciados os modelos que utilizam: estruturas de pares de chave / valor para representar os contextos, representações *Markup* hierárquicas como o XML, aproximações orientadas a objectos com vantagens de reutilização, modelos baseados em inferência lógica e modelos baseados em ontologias.

No que diz respeito ao processamento disponível para a gestão dos contextos, são referidos quatro categorizações: a existência de um “Histórico de Contextos”, a possibilidade de

“Agregação” de diferentes contextos originando novos contextos mais complexos, a existência de “Filtragem” no modo de obtenção dos contextos, quer baseados no tempo, como em notificações de alteração e, por último, a existência de mecanismos de “Segurança e Qualidade” que permitam garantir a qualidade, privacidade e disponibilidade dos contextos.

A Tabela 3.1 analisa os sistemas apresentados na secção 3.3 na perspectiva de verificação dos aspectos identificados nas taxonomias descritas previamente. Da análise desta matriz constata-se que apesar de alguns sistemas tocarem em características importantes dos sistemas de VA, existem lacunas em funcionalidades que, podendo ser importantes em aplicações de VA, são pouco abordadas nos sistemas existentes.

Tabela 3.1. Classificação dos sistemas de acordo com as taxonomias de Nalepa e Bobek (2014) e Bellavista et al. (2013)

	CASS	Proteus	Active C.A.F.	Sistema de Papakonstatinou	CAPIM	Dynamix
Acesso						
Acesso Directo						
<i>Middleware</i>	✓	✓		✓		✓
Serviços			✓		✓	
Servidor Central						
Representação						
Modelo Geral	✓				✓	
Domínio Esp.		✓	✓			
Sem Modelo				✓		✓
Processamento						
Histórico	✓					
Agregação	✓		✓	✓	✓	
Filtragem				✓	✓	
Segurança / Qualidade					✓	✓

Assim, é possível retirar as seguintes conclusões:

Acesso - Relativamente ao modo como as organizações propostas acedem à informação contextual é possível observar que a maioria dos sistemas utiliza uma organização que utiliza uma camada de *middleware* para a obtenção e gestão da informação contextual. Este tipo de organização tem como principais vantagens a encapsulação da camada responsável pela comunicação directa com as fontes de contextos, facilitando a reutilização e extensão dos sistemas (Nalepa e Bobek, 2014).

Representação de Contextos – Neste domínio é possível perceber que existe muita heterogeneidade nos sistemas, com um misto de sistemas que não utilizam modelos de contextos, outros que os têm mas apenas para domínios específicos, e existindo apenas dois sistemas (CASS e CAPIM) que utilizam de forma explícita um modelo geral de contextos. A utilização de um modelo geral é fulcral para permitir sistemas que sejam não só fáceis de reutilizar em diferentes domínios, mas também para permitir que novos tipos de contextos que venham a ser disponibilizados futuramente não obriguem a um redesenho dos sistemas.

Processamento - Relativamente às funcionalidades de processamento de contexto, é possível perceber que a utilização de módulos de agregação de contextos é comum à maioria dos sistemas, revelando a necessidade de criação de contextos mais complexos e de alto nível, através da junção de diversos contextos de baixo nível de complexidade.

Pelo contrário, o suporte a um contexto histórico é apenas definido explicitamente no sistema CASS, estando ausente dos restantes sistemas. Apesar de algumas organizações utilizarem dados históricos de forma implícita na gestão de alguns contextos (caso, por exemplo, do sistema Proteus) esta opção é limitada ao registo do histórico de um conjunto muito limitado de contextos. É, assim, importante que se removam estas restrições, e que seja dado suporte à utilização de um contexto histórico abrangente a todos os contextos e que possa também incluir dados históricos obtidos de fontes externas.

De igual forma, a utilização de mecanismos de filtragem da informação contextual que permitam uma gestão da obtenção dos contextos, quer baseada em factores temporais, quer utilizando sistemas de notificação de alteração dos valores dos contextos é também importante. Deste modo, é possível garantir, não só uma correcta actualização dos dados contextuais, como também uma gestão eficiente da carga computacional associada à obtenção e actualização dos contextos. Apesar desta importância, é possível observar que apenas a organização proposta por Papakonstatinou e a do sistema CAPIM revelam estas funcionalidades de forma explícita.

Por último, a incorporação de mecanismos de segurança na organização dos sistemas, que permitam garantir a fiabilidade, disponibilidade e privacidade da informação contextual está presente apenas nos sistemas CAPIM e Dynamix, e somente ao nível da privacidade da informação contextual.

A necessidade de garantias de privacidade dos contextos é relevante, mas mais premente em organizações de sistemas que utilizem uma abordagem distribuída, justificando, assim, a sua ausência noutros tipos de organização. É, no entanto, importante que existam mecanismos para verificar a fiabilidade da informação contextual obtida. De facto, com o aumento da quantidade de fontes de informação contextual, e com a sua sobreposição, é cada vez mais relevante que

existam mecanismos que permitam escolher qual o contexto mais fiável. Para tal, poderá ser utilizada informação acerca da precisão e do momento e modo de obtenção da informação contextual, de modo a evitar visualizações incorrectas originadas por contextos com um baixo grau de fiabilidade (Manzoor, Truong e Dustdar, 2008).

3.5 Sumário e Discussão

Neste capítulo foi realizada uma descrição do trabalho relacionado relevante para o tema das aplicações de VA para dispositivos móveis, em particular sobre aplicações adaptativas, nomeadamente no que diz respeito à identificação e modelação dos diferentes tipos de contexto existentes.

No que diz respeito aos modelos de organização deste tipo de aplicações, é possível notar algumas semelhanças entre as várias propostas, nomeadamente ao nível da separação em camadas, dos principais componentes e, em especial, entre os componentes responsáveis pela obtenção dos contextos e os componentes das aplicações, responsáveis por utilizar esta informação.

Apesar de haver diversas propostas neste domínio, existem ainda algumas limitações.

Por um lado, alguns sistemas estão ainda muito focados em dimensões de contexto demasiado específicas, tendo o seu modelo de organização apenas a representação destes contextos e, dessa forma, prejudicando o seu potencial de generalização para novas dimensões de contexto. Por outro lado, os sistemas que utilizam conjuntos diversificados de dimensões de contexto são normalmente desenvolvidos para domínios muito específicos e, como consequência, construídos de modo a otimizar o seu funcionamento nesses domínios, impossibilitando, no entanto, a sua portabilidade ou reutilização em domínios ou cenários diferentes.

Adicionalmente, apesar de muitos dos sistemas terem um modelo de organização em camadas, o qual tem o potencial de permitir uma separação clara entre as diferentes funcionalidades e a consequente reutilização de camadas entre diferentes sistemas, nem sempre existe independência entre estas, provocando a dependência de umas em relação às outras.

Finalmente, é importante incorporar mecanismos que permitam gerir de forma eficiente e fiável a obtenção e actualização dos contextos. Assim, devem existir mecanismos que facilitem a escolha dos melhores momentos para a actualização da informação, bem como a existência de funcionalidades que possibilitem o cálculo da fiabilidade dos contextos, permitindo a escolha da melhor fonte de informação contextual em cada instante.

Uma vez que o desenvolvimento de aplicações de VA pode ser um factor chave na minimização dos problemas de usabilidade associados ao uso de aplicações de visualização em

ambientes móveis, é importante a criação de uma infra-estrutura para aplicações de VA que permita resolver, ou minimizar, as limitações anteriormente referidas.

No capítulo seguinte será apresentada a identificação e proposta de categorização dos componentes existentes nas aplicações de VA e será descrita a proposta de uma infra-estrutura conceptual de *middleware* para aplicações de VA que tem o objectivo de solucionar algumas das limitações encontradas neste tipo de sistemas.

Capítulo 4

Chameleon – Visualização Adaptativa em Ambientes Móveis

Um dos objectivos deste trabalho é a proposta de uma infra-estrutura conceptual de *middleware*, denominada Chameleon, para o desenvolvimento de aplicações de VA de informação em ambientes móveis que promova uma correcta integração e comunicação entre os objectos de adaptação, os métodos de adaptação que lhes estão associados e os diferentes contextos de uso utilizados para efectuar cada adaptação.

Como foi possível constatar no capítulo anterior, existe uma grande heterogeneidade nas organizações propostas para os sistemas de VA e, apesar de algumas destas propostas abordarem características fundamentais, continuam a existir diversas limitações, nomeadamente ao nível da reutilização dos sistemas e na utilização de um conjunto variado de contextos.

Um ponto essencial da infra-estrutura proposta é a necessidade de reforçar a sua capacidade para poder ser utilizada em diferentes domínios e cenários, e ao mesmo tempo possibilitando a utilização de um conjunto abrangente de contextos de uso e sendo expansível a novos contextos. Assim, é desejável a existência de um modelo geral que permita representar e classificar os contextos existentes em ambientes de mobilidade.

É também importante que sejam disponibilizadas funcionalidades para uma melhor gestão dos contextos existentes, permitindo não só a criação de contextos mais complexos a partir de outros mais simples, bem como identificar, em cada instante, quais os contextos mais adequados para realizar uma adaptação. Adicionalmente, a escolha dos momentos em que os valores dos contextos são obtidos deverá ser feita de forma a equilibrar uma correcta actualização da informação contextual, com a poupança dos recursos do dispositivo.

Por outro lado, é importante que o modelo de organização escolhido possa permitir uma correcta separação entre os diferentes componentes envolvidos, para que estes possam ser reutilizados de forma independente uns dos outros.

Finalmente, esta infra-estrutura deverá ter em conta a organização e categorização dos diferentes tipos de contextos disponíveis num ambiente móvel, adoptada neste trabalho, e os respectivos objectos de adaptação existentes em aplicações de visualização de informação.

Nas secções seguintes irá ser apresentada a identificação e categorização dos diferentes contextos e objectos de adaptação, bem como exemplificados alguns dos métodos de adaptação que correspondem a cada uma das categorias.

Por último, irá ser descrita a infra-estrutura conceptual Chameleon, proposta para a concepção e desenvolvimento de aplicações de VA em dispositivos móveis.

4.1 Contextos de Uso em Ambiente Móvel

Nesta secção será apresentada a categorização adoptada neste trabalho, tendo em conta os requisitos das aplicações de VA em dispositivos móveis.

Apesar da existência de algumas diferenças específicas entre as categorizações apresentadas na secção 3.1, estas podem ser comparadas, permitindo-nos perceber como se relacionam umas com as outras.

A Tabela 4.1 mostra, em cada linha, uma representação das categorizações de contextos propostas pelos diferentes autores, permitindo perceber quais os tipos de contextos analisados e o modo como essas categorizações se relacionam com a proposta utilizada neste documento.

Assim, a proposta, apresentada na primeira linha da tabela, distingue entre os contextos que são directamente dependentes do utilizador, daqueles que dizem respeito ao ambiente envolvente ao utilizador mas que não são directamente influenciados por este, ou seja, os contextos temporais, os contextos relativos às especificações técnicas do dispositivo e aos recursos vizinhos, e, por último, a informação sobre as anteriores experiências e os dados históricos.

Tabela 4.1. Relação entre as diferentes propostas de categorizações do contexto

Pombinho (2011b)	Utilizador	Físico	Temporal	Computacional	Histórico
Schilit (1994)	Utilizador	Físico		Computacional	
Chen (2000)	Utilizador	Físico	Tempo	Computacional	Histórico de Contextos
Predic (2006)	Características do Ambiente do Utilizador			Características Técnicas	
Huang (2009)	Utilizador	Tarefa	Social	Ambiental	Artefacto
Desertot (2010)	Utilizador	Ambiente			Dispositivo
Han (2008)	Interno	Social	Físico		Físico
Hofer (2002)	Lógico		Físico		
Prekop (2003)	Interno		Externo		

Através da análise das diferentes categorizações dos contextos, é possível observar que, com apenas algumas excepções, como as propostas de Predic et al. (2006) e Desertot et al. (2010), existe uma clara distinção entre os contextos que estão relacionados com o utilizador, e que dele dependem directamente, e os contextos em que tal não acontece. Este facto reflecte a importância que é dada ao utilizador nos sistemas adaptativos e implica que uma das categorias deverá ser a dos Contextos do Utilizador.

Apesar de algumas classificações optarem por seguir uma abordagem mais minimalista e categorizarem os restantes contextos apenas numa categoria (Hofer et al., 2002; Prekop e Burnett, 2003), é fundamental considerar aproximações em que exista uma maior distinção entre os contextos de modo a que o processo de adaptação e gestão dos contextos seja realizado de forma mais específica. Por esta razão, ao analisar as restantes categorizações, apesar de algumas variações, não só a categoria de Contextos Físicos (i.e., aqueles contextos que se relacionam com o ambiente envolvente ao utilizador, mas que não são directamente influenciados por este) como também o Contexto Computacional (i.e., os contextos que se relacionam com as especificações do dispositivo e recursos vizinhos) se apresentam como características fundamentais a considerar no processo adaptativo.

As categorias de Contexto Temporal e Contexto Histórico são menos evidentes nas categorizações descritas. No que diz respeito à categoria de Contexto Temporal, apesar dos contextos correspondentes estarem presentes em diversas categorizações, apenas são considerados como uma categoria separada numa das propostas. Em relação à categoria de Contexto Histórico, esta apenas está claramente presente numa das categorizações. Apesar destas categorias contemplarem um conjunto mais reduzido de contextos, têm, de facto, um papel importante (e diferente), em cenários de VA em ambientes móveis, já que permitem, por um lado, uma correcta gestão da dimensão temporal e, por outro, organizar a obtenção e registo de dados históricos de forma a poder antecipar as necessidades do utilizador.

Por estas razões, neste trabalho foi adoptada uma categorização que combina as propostas feitas por Schilit et al., (1994) e Chen e Kotz (2000) uma vez que incluem a categorização mais abrangente num contexto de utilização em ambiente móvel. Nesta categorização foi expandida a noção de “Histórico de Contextos” da classificação proposta por Chen, que considera um histórico dos valores dos contextos obtidos no dispositivo, e aumentar o âmbito para um “Contexto Histórico”, que inclui também todos os dados relativos a anteriores eventos e experiências do utilizador, obtidos através de outras fontes de informação contextual (por exemplo, agenda e *email* do utilizador, entre outros), permitindo obter informação histórica mais abrangente.

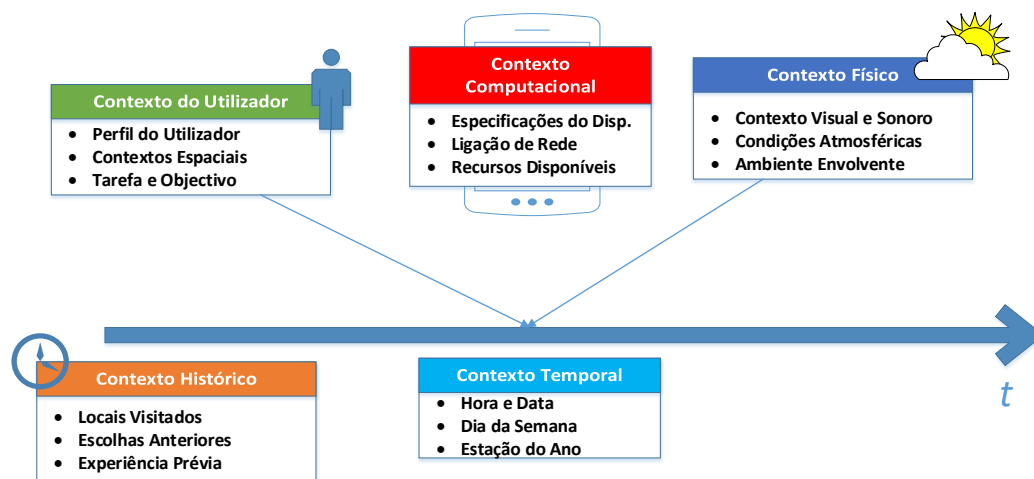


Figura 4.2. Categorização dos diferentes contextos de uso

Nas próximas secções, irão ser descritos os contextos de uso que foram identificados para cada uma das cinco categorias (Figura 4.2): Contexto do Utilizador, Contexto Físico, Contexto Temporal, Contexto Computacional e Contexto Histórico.

4.1.1 Contexto do Utilizador

A categoria de Contexto do Utilizador contém os contextos que estão relacionados com o utilizador e que dele dependem directamente. Estes contextos incluem a informação sobre o perfil do utilizador e podem ser configurados directamente pelo utilizador ou obtidos utilizando informação disponível através das contas das redes sociais a que o utilizador pertence. A informação obtida pode incluir, por exemplo, a idade, nacionalidade, experiência no uso de dispositivos móveis, ou necessidades especiais do utilizador. As preferências do utilizador estão também aqui incluídas.

Outros tipos de Contextos do Utilizador são os seus contextos espaciais. Estes incluem a localização do utilizador, a qual pode ser calculada utilizando sistemas de posicionamento global ou inferidas através dos sensores integrados no dispositivo; a orientação do utilizador calculada utilizando a informação da bússola e giroscópios do dispositivo; e a velocidade e aceleração, obtidas através das mudanças de posição ou através do acelerómetro.

Por último, a informação sobre a tarefa actual do utilizador também é categorizada como um Contexto do Utilizador. Este tipo de contexto pode ser especificado manualmente pelo utilizador ou pode ser deduzido através da informação contida na agenda do utilizador e através dos registos históricos.

4.1.2 Contexto Físico

Ao contrário do que acontece com os Contextos do Utilizador, na categoria de Contextos Físicos estão incluídos aqueles que não são directamente influenciados pelo utilizador, tais como as condições de luz e ruído, contextos meteorológicos e outros contextos que descrevam as condições em redor do utilizador, como as condições de tráfego.

A informação sobre as condições de luminosidade ou os níveis de ruído na envolvente do utilizador podem ser obtidos utilizando os sensores de luz do dispositivo e o microfone.

As condições ambientais e atmosféricas no local onde o utilizador se encontra podem ser calculadas através de sensores integrados, como um barómetro, termómetro ou higrómetro, que existem nalguns dispositivos ou, na sua ausência, obtidos através de serviços de meteorologia disponíveis *online*. De modo semelhante, as condições de tráfego podem também ser obtidas através destes servidores dedicados.

4.1.3 Contexto Temporal

Os contextos temporais referem-se aos contextos que definem o instante actual de utilização da aplicação, podendo ser definidos com diferentes níveis de granularidade. Assim, podem ser mais elementares, por exemplo, a hora e data actual, ou mais complexos, como o dia da semana, a estação do ano, ou informação sobre se o dia actual é um feriado ou se tem um evento específico associado.

Os contextos temporais são obtidos utilizando o relógio interno do dispositivo e o calendário.

4.1.4 Contexto Computacional

A categoria do Contexto Computacional está relacionada com as diferentes especificações técnicas dos dispositivos móveis, as suas ligações de dados e a identificação dos recursos vizinhos, tais como impressoras, computadores e outros dispositivos móveis, que poderão ser conectados ao dispositivo.

A maioria das especificações dos dispositivos pode ser obtida durante a instalação. Incluem o tipo e capacidade de processamento do dispositivo, a sua memória e capacidade de armazenamento, as especificações gráficas, tal como o tamanho do ecrã, a sua resolução e densidade de pixels e, por último, os tipos de periféricos disponíveis para interacção com o utilizador.

A informação sobre as ligações de dados pode ser obtida em tempo real para as especificações que são dinâmicas, como por exemplo, a qualidade da ligação de dados e a largura de banda disponível.

Por último, a presença de dispositivos na vizinhança do utilizador poderá ser obtida através de diversos protocolos de comunicação sem fios, como o Bluetooth, Wi-Fi, Universal Plug and Play ou DLNA.

4.1.5 Contexto Histórico

O contexto histórico consiste, por exemplo, no conhecimento das anteriores escolhas e história do utilizador e deverá ser obtido através do armazenamento de registos da actividade do utilizador e da análise de outras fontes de informação, como a agenda e correio electrónico do utilizador. Estes registos podem consistir, por exemplo, numa lista de locais previamente visitados pelo utilizador ou nas anteriores pesquisas e escolhas que delas derivaram.

4.2 Objectos de Adaptação em Aplicações de Visualização Móvel

Os objectos de adaptação correspondem a todos os objectos, existentes em aplicações de visualização de informação, que podem ser adaptados em função do conhecimento dos contextos de uso. Nesta secção será apresentada a proposta de categorização destes objectos em aplicações de VA em dispositivos móveis.

Uma vez que se pretende ter soluções para a organização das aplicações de VA de informação que permitam o desenvolvimento de sistemas mais abrangentes, que consigam lidar com tipos de informação mais diversos, não estando limitados apenas à informação geoespacial e a aplicações baseadas em mapas, foi adoptada uma abordagem baseada na proposta de Reichenbacher (2008), mas generalizando-a de modo a permitir uma maior liberdade na selecção dos objectos de adaptação. Por esta razão, foram consideradas três categorias que seguem esta abordagem: Informação, Visualização e Interacção (Figura 4.3).

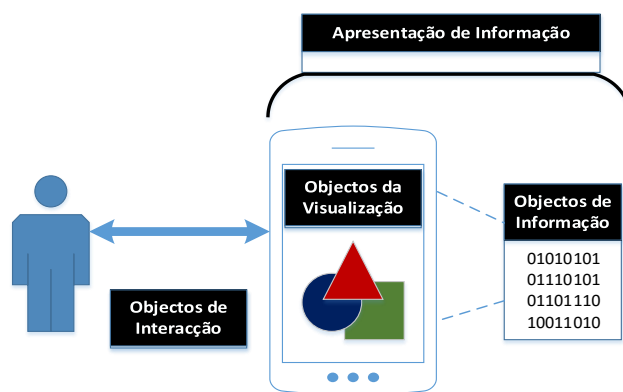


Figura 4.3. Categorização dos diferentes objectos de adaptação

A categoria dos objectos de **Informação** contém os dados (não apenas georreferenciados) que são obtidos através da aplicação e que serão, potencialmente, apresentados ao utilizador ou utilizados pelo sistema.

Os objectos de **Visualização** são compostos pelos elementos gráficos que estão directamente relacionados com a visualização da informação no dispositivo, i.e. a informação que é realmente visualizada pelo utilizador. Exemplos de objectos de visualização incluem o tipo de codificação utilizado pelos elementos gráficos, a posição, tamanho e cor dos símbolos utilizados, e como é que estes estão dispostos no ecrã, para além do tipo de iconografia utilizada e o seu nível de detalhe.

Apesar de, como será descrito na próxima secção, as adaptações para estas duas categorias serem substancialmente diferentes, muitos dos respectivos objectos de adaptação estão directamente relacionados uns com os outros. Por esta razão, para facilitar a adaptação de objectos simultaneamente relacionados com as duas categorias, escolheu agregar-se as duas numa categoria de **Apresentação de Informação**.

Por último, os objectos de **Interacção** são aqueles que estão directamente relacionados com a interacção do utilizador com a aplicação. Exemplos deste tipo de objectos são os diferentes componentes da interface com o utilizador, que são utilizados para a introdução de dados.

4.3 Métodos de Adaptação para Visualização Móvel

Os métodos de adaptação são responsáveis por ajustar um ou mais objectos de adaptação (informação, visualização e/ou interacção) de acordo com os contextos de uso. Por este facto foram classificados numa matriz que relaciona as categorias de contexto com as categorias dos objectos que adaptam (Pombinho et al., 2011b). Esta relação pode ser vista na Figura 4.4.

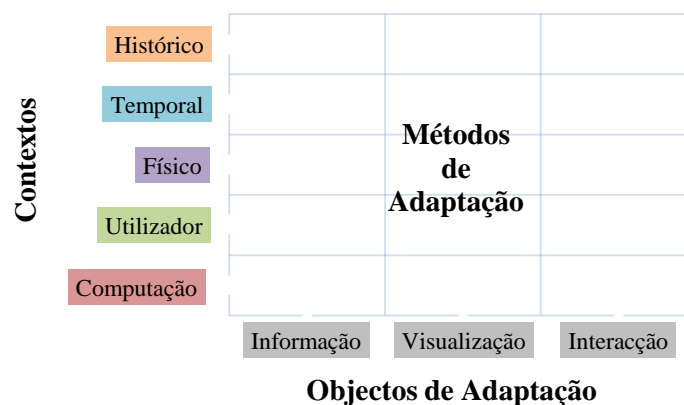


Figura 4.4. Categorização dos métodos de adaptação

Nas próximas secções, serão apresentados alguns métodos de adaptação que podem ser utilizados em aplicações de VA em dispositivos móveis. Neste âmbito os métodos de adaptação utilizados consistem, tipicamente, na utilização ou combinação das seguintes técnicas:

- Técnicas de **filtragem** que permitem reduzir a quantidade de informação a apresentar e que, quando utilizadas em conjunto com técnicas de **cálculo da relevância**, permitem escolher e apresentar apenas a informação mais relevante para o utilizador.
- Técnicas de **adaptação da apresentação** que alteram os parâmetros da renderização da visualização.
- Adaptações ao **mapeamento** dos elementos gráficos visualizados.
- Adaptações ao tipo de **interacção** com o utilizador.
- Cálculo de **nova informação** para apresentar.
- Escolha de diferentes formas de **configuração / codificação** dos dados.

Por uma questão de simplicidade de organização de apresentação, nas secções seguintes, os exemplos destes métodos estão agrupados pela categoria do contexto e é assinalada a categoria dos objectos de adaptam (i.e. Informação, Visualização e Interacção).

4.3.1 Contexto do Utilizador

Em relação ao perfil do utilizador, os contextos como a idade, língua e nacionalidade podem influenciar o tipo de **visualização** utilizando métodos de adaptação que ajustem, respectivamente, o mapeamento dos símbolos utilizados, e codificação da linguagem e das definições de hora e de moeda.

O tipo de **interacção** também pode ser adaptado de acordo com a experiência na utilização do dispositivo e da aplicação, as necessidades especiais e preferências do utilizador. Através destes contextos é possível apresentar, ao utilizador, interfaces mais complexas ou mais simples, de acordo com as suas necessidades e capacidades.

Por último, a **informação** apresentada também pode ser adaptada de acordo com os interesses do utilizador, as localizações que foram marcadas como importantes (por exemplo, a residência e local de trabalho) e elementos culturais e sociais, através da utilização de métodos de filtragem com cálculo da relevância e também através de adaptações ao mapeamento dos símbolos utilizados.

No que diz respeito aos contextos espaciais, o contexto de localização permite à aplicação filtrar a **informação**, limitando-a ao que se encontra na proximidade. Do mesmo modo, o contexto de orientação pode ser utilizado para mostrar apenas informação sobre o que se encontra à frente do utilizador, ou relacionada com o objecto para onde o utilizador está a apontar o dispositivo.

Contextos como a velocidade, aceleração e o tipo de movimento feito pelo utilizador, podem ser utilizados não apenas para calcular para onde este se dirige e estimar quanto tempo demorará a lá chegar, mas também para adaptar a apresentação ajustando o modo como a informação é **visualizada** (por exemplo, reduzindo a ampliação do mapa à medida que a velocidade aumenta) ou o tipo de **interacção** disponível (por exemplo, utilizando diferentes técnicas para seleccionar objectos no ecrã dependendo se o utilizador está a andar ou correr).

Como já acontece em sistemas como o Google Latitude (2013), a proximidade geográfica de amigos e família pode ser utilizada para adaptar o cálculo da relevância e filtrar a **informação** de locais que se encontrem na proximidade de um grupo de utilizadores em vez de apenas um indivíduo.

Por último, o conhecimento acerca da tarefa que o utilizador está a efectuar num determinado momento pode ser crucial para permitir **visualizar a informação** que é mais relevante e que poderá ser mais benéfica para assistir o utilizador naquilo que está a fazer.

4.3.2 Contexto Físico

A informação acerca das condições de luz e dos níveis de ruído que se verificam no local onde se encontra o utilizador são importantes para adaptar o modo como a informação é **visualizada** e a **interacção** com o dispositivo. O conhecimento das condições de luminosidade pode permitir à aplicação adaptar a apresentação da **visualização**, ajustando as cores utilizadas, bem como o brilho e contraste do ecrã, de forma a melhorar a informação apresentada para que esta seja mais facilmente compreendida. No que se refere aos níveis de ruído, é possível adaptar o tipo de **interacção**, e aumentar ou reduzir o volume do dispositivo consoante o utilizador está num ambiente silencioso ou ruidoso, ou até mesmo optar por formas de comunicação alternativas.

A informação sobre as condições atmosféricas e previsões meteorológicas podem ser utilizadas para apresentar **informação** diferente consoante as condições que se verificam. Se, por exemplo, o utilizador estiver à procura de um restaurante e se estiver sol e calor, a aplicação poderá considerar restaurantes com esplanadas mais relevantes e filtrar os restantes, ou o reverso caso esteja frio ou a chover.

A utilização de informação sobre o ambiente envolvente pode permitir a filtragem de **informação** apresentada ao utilizador tendo em conta aquilo que o rodeia. Por exemplo, a aplicação poderá mostrar praias se o utilizador estiver próximo do mar ou, caso o utilizador esteja numa zona histórica ou turística, mostrar museus.

As condições de tráfego podem ser, como já acontece em sistemas como o TomTom (2015), entre outros, utilizadas para filtrar as **informações** apresentadas, de forma a mostrar alternativas que evitem atravessar locais com congestionamentos de tráfego.

4.3.3 Contexto Temporal

A informação temporal pode conduzir a diferentes tipos de adaptação.

O modo como é feita a **visualização** de informação (por exemplo, o mapeamento das cores e símbolos utilizados) pode ser alterada dependendo da hora do dia (utilizando, por exemplo, cores diferentes caso seja de noite ou de dia, como é feito nalguns sistemas de navegação ou de astronomia (TomTom, 2015; Google Sky Maps, 2015)).

A utilização da hora local pode permitir filtrar a **informação** apresentada, tendo em conta os horários dos locais apresentados e se estão, ou não, abertos. De forma semelhante, a apresentação de informação sobre eventos pode ter em consideração a data e hora actual e filtrar a **informação** caso esta ainda esteja distante.

4.3.4 Contexto Computacional

O conhecimento das especificações do dispositivo pode permitir à aplicação efectuar diferentes tipos de adaptação. A carga computacional da aplicação pode ser ajustada através da adaptação do tipo de **interacção** e adaptando o mapeamento e apresentação da **visualização**, desactivando funcionalidades mais complexas caso o dispositivo seja menos potente ou se estiver em dado momento sobrecarregado. De igual forma, os detalhes e tamanho dos símbolos utilizados podem ser aumentados ou diminuídos, adaptando o mapeamento e apresentação da **visualização**, em função do tamanho e resolução do ecrã, e o modo de **interacção** pode ser ajustado em função do tipo de periféricos de entrada e saída que estão disponíveis.

As características da ligação de dados podem ser utilizadas para permitir um melhor uso dos recursos disponíveis, através da obtenção antecipada de **informação** necessária ou através da escolha do melhor momento para a obtenção dos dados.

No que diz respeito ao custo da utilização das ligações de dados, este contexto poderá permitir adaptar o modo de obtenção da **informação**, tornando possível saber quando se deve dar prioridade à velocidade (no caso da taxaço ser feita por tempo) ou priorizar a reduço da quantidade de dados (no caso de taxaço por quantidade de dados).

Finalmente, a utilização da informação sobre os recursos vizinhos (impressoras, monitores, entre outros) poderá permitir uma melhor interligação do dispositivo móvel com os dispositivos na sua vizinhança, permitindo adaptar a **visualização** e o tipo de **interacção** com a aplicação recorrendo a estes dispositivos.

4.3.5 Contexto Histórico

A análise dos registos armazenados sobre as anteriores utilizações da aplicação pode permitir, em combinação com outros contextos, a antecipação das necessidades do utilizador e a **visualização** automática da **informação** mais relevante em cada instante.

Desta forma, é possível ir tomando conhecimento, ao longo do tempo, das preferências do utilizador, de modo a melhorar as suas escolhas futuras, mas também conhecer aquilo que o utilizador não gosta, e conseguindo igualmente evitar apresentar este tipo de informação.

4.4 Chameleon

Tal como já foi discutido anteriormente, o desenvolvimento de aplicações de VA tem o potencial de minimizar as limitações existentes neste tipo de aplicações quando utilizadas em dispositivos móveis. No entanto, para que estes sistemas possam ser generalizados a diversos cenários e domínios aplicacionais é necessário que sejam concebidos e desenvolvidos de uma forma que possibilitem a utilização de um conjunto abrangente de contextos de uso, e que não sejam construídos apenas para domínios específicos. É ainda importante que os diferentes componentes do sistema possam ser independentes, facilitando a sua posterior reutilização, e que forneçam mecanismos que tornem fiável a utilização e gestão da informação contextual.

Assim, para que seja possível fazer uma gestão eficaz da relação entre os contextos de uso, os objectos de adaptação e os métodos de adaptação, foi proposta a Chameleon, uma infra-estrutura conceptual de *middleware* para aplicações de VA de informação para ambientes móveis (Pombinho et al., 2011b, Pombinho et al., 2015).

A organização proposta na Chameleon utiliza o modelo geral de contexto, descrito nas secções anteriores, e tem como objectivo ser facilmente reutilizável em diferentes domínios e fácil de expandir com a incorporação de novos contextos.

Adicionalmente, esta organização incorpora mecanismos de agregação de contextos, permitindo a criação de contextos com maior complexidade, a partir de outros contextos mais simples. Inclui ainda mecanismos que permitem a utilização de contextos históricos, obtidos através da integração de informação histórica acerca das anteriores escolhas e experiências do utilizador.

Por último, devido à existência de um grande número de possíveis contextos e também de diferentes fontes para a sua obtenção, foram incorporados mecanismos que permitem gerir e escolher a melhor altura para a obtenção dos contextos e também escolher, para contextos semelhantes, qual a melhor fonte de informação contextual de modo a utilizar, em cada instante, o contexto mais fiável.

4.4.1 Chameleon – Modelo de Arquitectura

O modelo de organização da Chameleon (Figura 4.5) utiliza uma abordagem com três camadas independentes, nas quais cada uma comunica directamente com as camadas imediatamente abaixo ou acima.

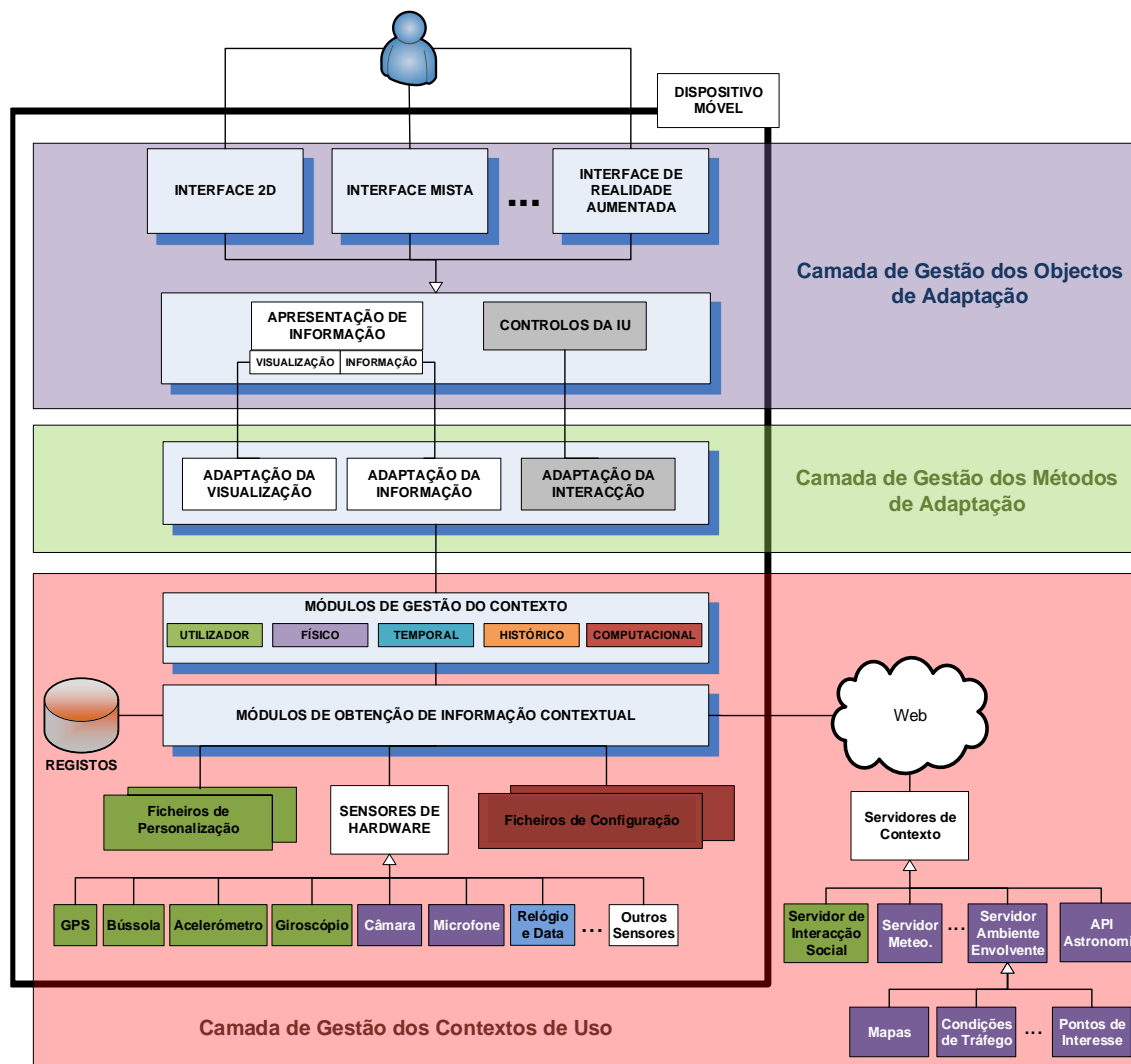


Figura 4.5. Chameleon (vista detalhada de cada camada nas Figuras 4.7, 4.9 e 4.11)

Camada de gestão dos objectos de adaptação (topo, a azul) – incorpora os diferentes objectos, passíveis de adaptar, que compõem as diferentes interfaces disponibilizadas na aplicação de VA. Estes comunicam com a camada que contém os métodos de adaptação de modo a efectuar a adaptação, caso esta esteja disponível. Estes objectos são categorizados dependendo do seu tipo como objectos de Visualização, Informação ou Interacção. Cada objecto pode ter um conjunto de métodos de adaptação aos quais está associado.

Camada de gestão dos métodos de adaptação (meio, a verde) – composta pelos diferentes métodos de adaptação existentes. Utiliza a camada inferior para obter a informação contextual necessária e utiliza-a para decidir de que forma deve adaptar os objectos da camada superior.

Camada de gestão dos contextos de uso (baixo, a vermelho) – integra os módulos responsáveis pela gestão e obtenção da informação contextual, a qual comunica com a camada de gestão dos métodos de adaptação. Os módulos de obtenção de informação contextual incluem fontes de contexto internas ao dispositivo e fontes externas, acessíveis através das ligações de dados do dispositivo móvel.

Apresenta-se na Figura 4.6, o diagrama de classes que dá suporte à concretização do modelo conceptual da Chameleon. Estas camadas serão descritas em maior detalhe nas secções seguintes.

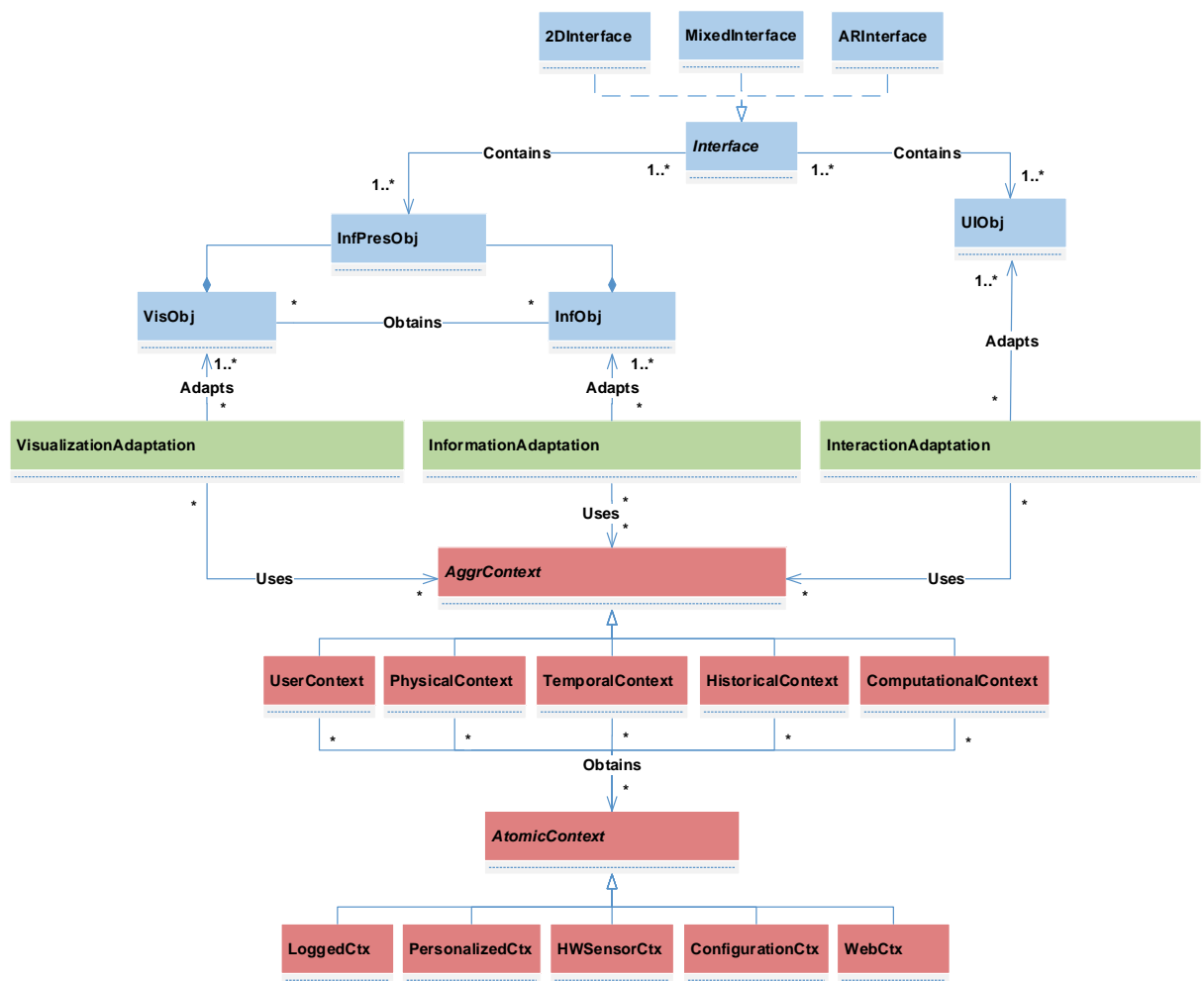


Figura 4.6. Diagrama de classes da Chameleon (vista detalhada nas Figuras 4.8, 4.10 e 4.12)

4.4.2 Gestão dos Objectos de Adaptação

No modelo de infra-estrutura proposto, e utilizado nos protótipos apresentados nos capítulos seguintes, foram considerados três tipos de interfaces com as quais o utilizador pode interagir

(Figura 4.7): uma consistindo na apresentação de informação em 2D (por exemplo, um mapa representando a vizinhança do utilizador), outra na qual a informação é apresentada utilizando técnicas de realidade aumentada e uma interface mista na qual ambos os tipos de visualização são apresentados simultaneamente.

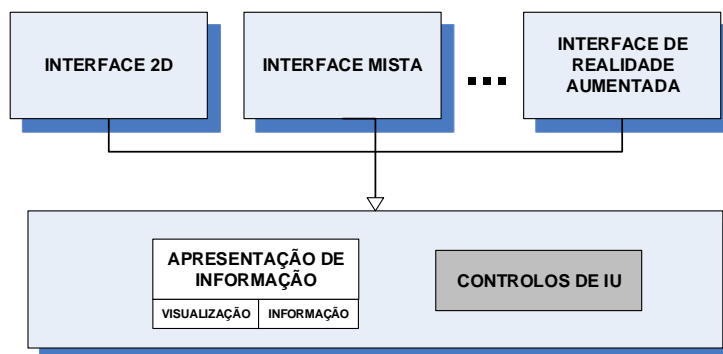


Figura 4.7. Camada de gestão dos objectos de adaptação

É importante realçar que os três tipos de interface considerados não são exaustivos e que seria possível a criação de interfaces adicionais. Para tal, uma vez que muitos dos objectos considerados são comuns a diversos tipos de interfaces, podendo ser reutilizados entre estas, bastaria a introdução de objectos eventualmente em falta e a sua integração em conjunto com os já existentes de modo a formarem uma nova interface. Deste modo o modelo de organização da Chameleon para interfaces adicionais não necessitaria de ser alterada.

Os diversos objectos que integram cada uma das interfaces formam o conjunto de objectos de adaptação da Chameleon. Para estes, a sua gestão é dividida em dois módulos: o módulo de **Controlos da Interface do Utilizador** e o módulo de **Apresentação de Informação**. O primeiro consiste nos objectos que estão directamente relacionados com os controlos da interacção do utilizador com a interface, enquanto o último (correspondente aos objectos pertencentes às categorias de **Informação** e de **Visualização**) contém os objectos referentes à informação, e os objectos relacionados com esta, e os que gerem o modo como a informação é visualizada.

Como discutido anteriormente, apesar de serem categorias diferentes, que estão associadas a diferentes métodos de adaptação, escolheu integrar-se ambos os objectos, de Informação e Visualização, no mesmo módulo, uma vez que estes têm, normalmente, uma relação bastante próxima, sendo frequente que os objectos de visualização sejam construídos utilizando informação dos objectos de informação.

Assim, cada objecto de adaptação será responsável por conhecer os diferentes métodos de adaptação com os quais se relaciona, utilizando as funcionalidades da camada inferior para saber se existem adaptações disponíveis e requerer a sua execução.

Cada objecto de adaptação deverá também, de acordo com as suas necessidades específicas, indicar à camada inferior se requer que as adaptações sejam feitas sempre que o valor dos contextos associados são alterados, ou apenas em determinados intervalos de tempo.

A Figura 4.8 mostra o diagrama de classes correspondente à camada de gestão dos objectos de adaptação.

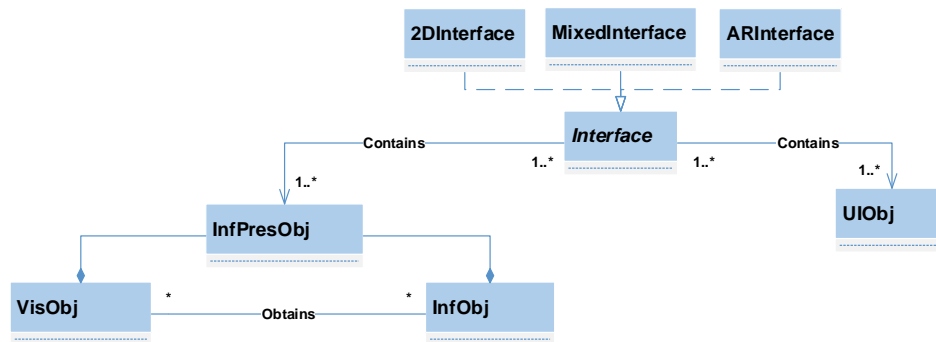


Figura 4.8. Diagrama de classes da Chameleon – camada de objectos de adaptação

4.4.3 Gestão dos Métodos de Adaptação

A Camada de Gestão dos Métodos de Adaptação consiste em três módulos que integram os diferentes tipos de adaptação (Figura 4.9). Desta forma, o módulo de adaptação da Interacção é responsável por gerir as adaptações dos objectos que estão directamente relacionados com o controlo da interacção com o utilizador.

O módulo de adaptação da Informação e o módulo de adaptação da Visualização irão gerir as adaptações dos objectos de Informação e de Visualização, respectivamente, que são pedidas pelos objectos de adaptação que correspondem ao módulo de Apresentação de Informação.

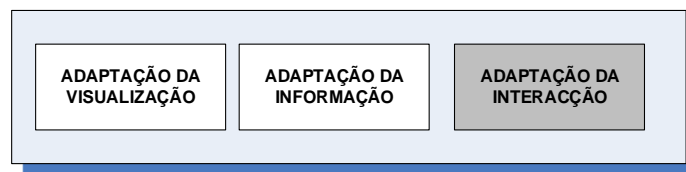


Figura 4.9. Camada de gestão dos métodos de adaptação

Assim, além do conjunto de funcionalidades específicas a cada método de adaptação, estes deverão fornecer uma forma padrão de interacção com os objectos de adaptação. Deste modo, são propostas quatro funções incluídas em todos os métodos de adaptação (Figura 4.10):

hasAdaptation – permite verificar se determinado objecto tem uma adaptação disponível.

adapt(Visualization / Information / Interaction) – efectua a adaptação dos respectivos objectos de Visualização, Informação e Interacção.

setAdaptRefreshPeriod – permite definir qual o período com que são efectuadas as adaptações aos objectos.

setAdaptRefreshType – utilizada em conjunto com a função anterior, permite escolher entre actualizações de adaptação geridas por intervalo de tempo ou, em alternativa, utilizando um modelo de notificações sempre que os contextos relevantes tiverem sido actualizados.

VisualizationAdaptation	InformationAdaptation	InteractionAdaptation
<ul style="list-style-type: none"> + hasAdaptation (obj : VisObj) : Boolean + adaptVisualization (obj : VisObj) : VisObj + setAdaptRefreshPeriod (time_ms : Integer) : Boolean + setAdaptRefreshType (type : Integer) : Boolean 	<ul style="list-style-type: none"> + hasAdaptation (obj : InfObj) : Boolean + adaptInformation (obj : InfObj) : InfObj + setAdaptRefreshPeriod (time_ms : Integer) : Boolean + setAdaptRefreshType (type : Integer) : Boolean 	<ul style="list-style-type: none"> + hasAdaptation (obj : UIObj) : Boolean + adaptVisualization (obj : UIObj) : UIObj + setAdaptRefreshPeriod (time_ms : Integer) : Boolean + setAdaptRefreshType (type : Integer) : Boolean

Figura 4.10. Classes da Chameleon – camada de gestão de métodos de adaptação

Adicionalmente, cada método de adaptação será responsável por implementar diferentes versões das adaptações, permitindo alguma flexibilidade de acordo com o tipo e valor dos contextos disponíveis. Como exemplo, um método de adaptação que adapte os símbolos apresentados no ecrã, dependendo se é noite ou dia, pode funcionar de forma diferente se, além de conhecer a hora, conseguir obter informação sobre as condições de luminosidade que se verificam no ambiente envolvente, através de um sensor disponível no dispositivo. Assim, o método poderá concretizar funcionalidades diferentes caso seja de noite, mas o utilizador esteja num ambiente bem iluminado, ou vice-versa.

A escolha dos contextos a utilizar para efectuar cada adaptação deverá ter em conta a qualidade de cada contexto. Como tal, a camada de gestão dos métodos de adaptação tem a responsabilidade de determinar quais os contextos disponíveis em cada instante e verificar a fiabilidade destes, escolhendo aqueles que melhor se adequam à adaptação pretendida.

4.4.4 Gestão dos Contextos de Uso

Por último, a camada responsável por gerir os contextos é composta por duas subcamadas que incluem os módulos de obtenção de informação contextual e os módulos de gestão dos contextos de uso (Figura 4.11). Os primeiros correspondem a contextos, tipicamente com menor complexidade, obtidos directamente através das fontes de informação contextual, e os segundos são contextos de maior complexidade, que podem agregar informação de múltiplos contextos de baixo nível.

Por uma questão de simplicidade, e para que seja mais perceptível a diferença entre estes dois níveis de complexidade dos contextos, irá ser utilizado o termo Contexto Atómico para os contextos mais simples, e Contexto Agregado para os contextos de maior complexidade.

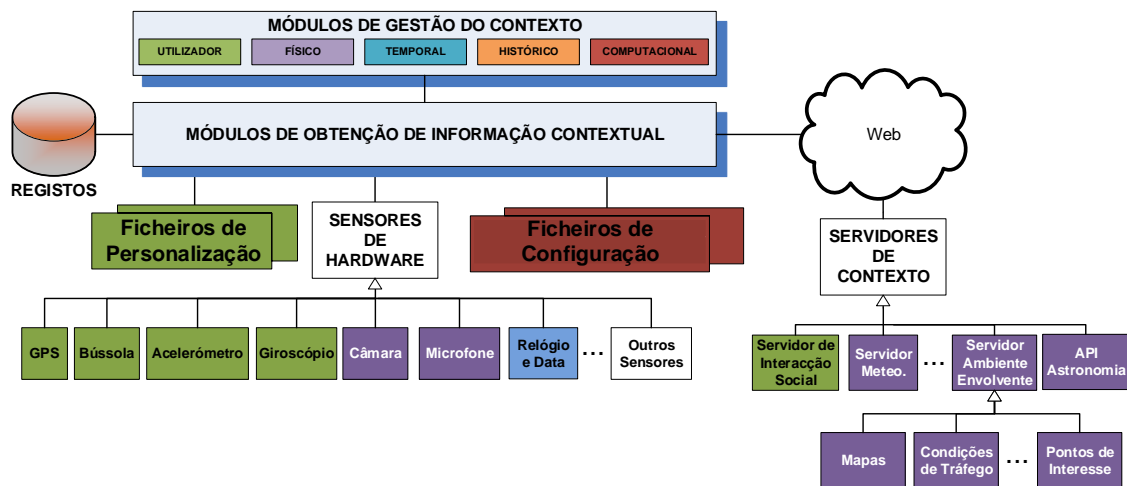


Figura 4.11. Camada de gestão dos contextos de uso

Módulos de Obtenção de Informação Contextual

No nível inferior, os Módulos de Obtenção de Informação Contextual comunicam directamente com os sensores disponíveis para obter a informação de mais baixo nível. Estes módulos estão divididos em cinco grupos:

- Um repositório interno na qual são armazenados os registos históricos.
- Um conjunto de registos dinâmicos que contêm informações de personalização e informação sobre a tarefa actual do utilizador.
- Ficheiros mais estáticos, criados em tempo de instalação e de configuração.
- Um conjunto de sensores físicos, integrados no dispositivo.
- Um conjunto de servidores de contexto que estão disponíveis na Internet através da utilização de uma ligação de dados.

Os módulos relativos a cada um destes contextos atómicos integram informação relativa aos respectivos contextos (Figura 4.12):

value – corresponde ao valor actual do contexto atómico.

minRefreshPeriod / *maxRefreshPeriod* – definição dos intervalos de tempo, mínimo e máximo, (em ms) em que é possível obter novos valores de informação contextual.

precision – taxa de erro associada à obtenção do valor do contexto.

contextAge – armazena o tempo da última actualização do valor do contexto.

Adicionalmente, são disponibilizadas as seguintes funcionalidades (Figura 4.12):

getContext – permite à camada superior obter a informação contextual respectiva.

contextChanged – indica se o valor de informação contextual foi alterado desde a última vez em que foi devolvido.

isContextAvailable – fornece indicações se a obtenção de nova informação contextual está actualmente disponível.

getRefreshPeriod – permite obter o período de actualização que está actualmente a ser utilizado / disponível.

getPrecision – devolve a taxa de erro associada à obtenção da informação contextual.

getAge – devolve quanto tempo passou (em ms) desde que o valor do contexto foi actualizado pela última vez.

getSensorType – indica qual o tipo de sensor associado à obtenção de informação contextual, se é uma fonte estática ou dinâmica e se é local ao dispositivo ou obtida de locais vizinhos.

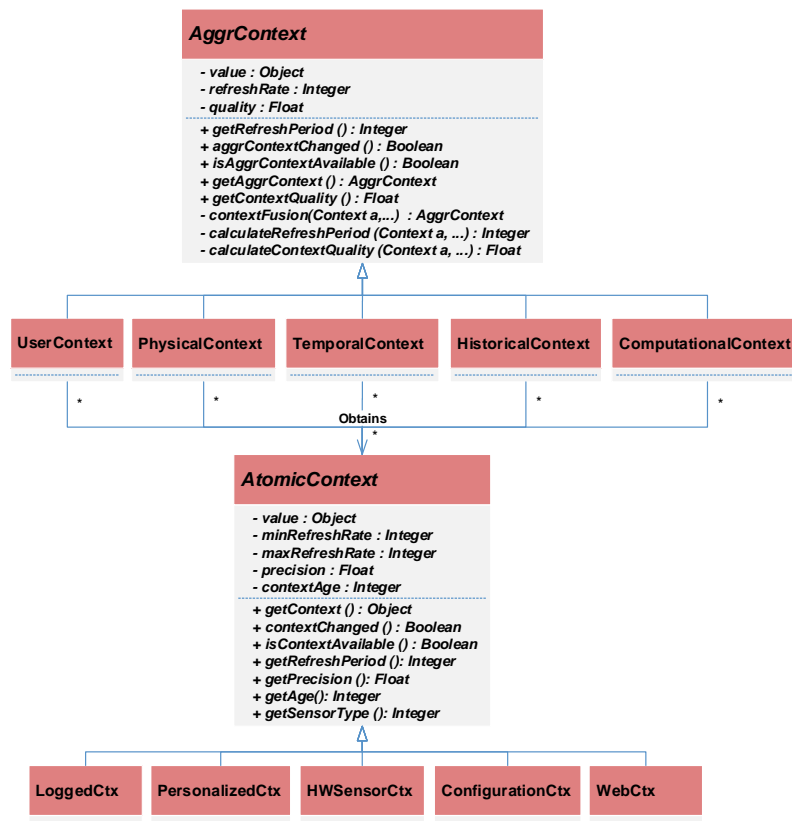


Figura 4.12. Diagrama de classes da Chameleon – camada de gestão de contextos

As funcionalidades existentes permitem à camada superior ter conhecimento não só do valor da informação contextual, mas também se esta informação é, ou não, actual e se sofreu alterações desde a última vez que foi obtida. Adicionalmente, é importante que sejam disponibilizadas funcionalidades que permitam perceber, por um lado, o tipo de fonte de informação utilizada e, por outro, qual a sua precisão. Desta forma, a camada superior, responsável por calcular contextos

agregados com maior nível de complexidade, pode determinar qual a fiabilidade da informação que está a utilizar.

Como exemplo, contextos obtidos através dos sensores locais são, tipicamente, de actualização mais fácil mas podem ter associados maiores taxas de erro, enquanto outros, obtidos de fontes vizinhas, podem ter uma elevada precisão mas estarem frequentemente desactualizados.

Módulos de Gestão do Contexto

Os diferentes contextos de uso existentes são geridos e calculados pelos Módulos de Gestão de Contextos utilizando a informação obtida do nível inferior. A utilização de diversos contextos atómicos permite o cálculo de contextos agregados com maior nível de complexidade. Como exemplo, se se considerar um contexto agregado: “Condições Meteorológicas” que pode ter valores como “dia de sol”, “dia chuvoso”, entre outros, este poderá ser calculado agregando informação de diversos contextos atómicos como a temperatura, humidade, precipitação, entre outros.

Estes módulos estão agrupados em cinco categorias, consoante o tipo de contextos que consideram: Contextos do Utilizador, Contextos Físicos, Contextos Temporais, Contextos Históricos e Contextos Computacionais.

Os módulos correspondentes aos contextos agregados contêm também informação sobre o seu valor, taxa de actualização e qualidade:

value – corresponde ao valor actual, calculado, do contexto agregado.

refreshPeriod – período de actualização do contexto agregado.

quality – corresponde a um valor, em percentagem, que identifica qual a fiabilidade e relevância do contexto agregado, utilizando informação acerca da precisão e tipo de sensor dos contextos atómicos que o integram.

Estes módulos oferecem as seguintes funcionalidades:

getRefreshPeriod / *calculateRefreshPeriod* – permitem, respectivamente, devolver qual o período de actualização do contexto agregado e calculá-lo. O cálculo do período de actualização agregado deverá ter em consideração as capacidades de actualização dos vários contextos atómicos que são utilizados na agregação.

aggrContextChanged – indica se o valor do contexto agregado foi actualizado desde a última vez em que foi obtido.

isAggrContextAvailable – informa se é possível, em determinado momento, obter informação contextual acerca do contexto agregado.

getAggrContext – permite devolver o valor do contexto agregado aos módulos dos métodos de adaptação que utilizam esta informação.

getContextQuality – devolve qual a qualidade, calculada, para o contexto agregado.

contextFusion – calcula o valor do contexto agregado utilizando informação acerca de um ou mais contextos atómicos, obtidos com recurso à camada inferior. Cada contexto agregado pode conter mais do que uma implementação desta função, considerando um conjunto diferente de contextos atómicos. Esta possibilidade permite que, em cada momento, sejam escolhidas as implementações que conseguem obter o contexto agregado com melhor qualidade.

calculateContextQuality – utiliza informação acerca da precisão e tipo de sensor de cada um dos contextos atómicos utilizados no cálculo do contexto agregado, de modo a calcular o valor da qualidade (percentual) deste contexto. Tal como na função anterior, deverão existir diversas implementações, de acordo com as diversas versões existentes para o cálculo do contexto agregado.

Na secção seguinte será apresentado um exemplo de fluxo de informação utilizando o modelo de organização proposto pela Chameleon numa aplicação móvel de VA.

4.4.5 Fluxo de Informação

Para se perceber mais facilmente o fluxo de informação na Chameleon, pode-se considerar o exemplo de uma aplicação móvel para visualização de restaurantes, apresentados sobre um mapa, adaptados de acordo com a localização do utilizador e as condições meteorológicas.

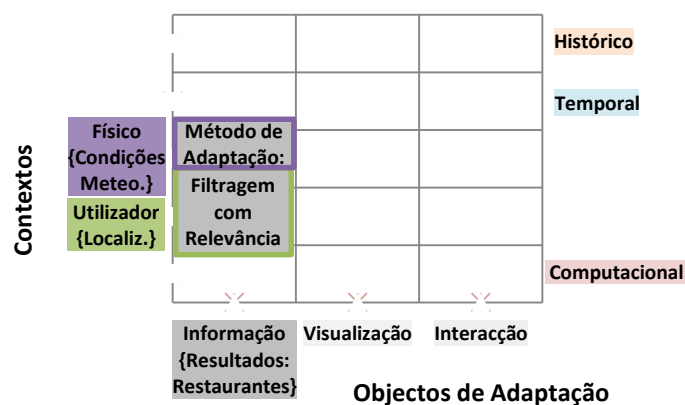


Figura 4.13. Matriz de adaptação

Neste exemplo, se se tiver um **objecto de adaptação** que corresponde aos resultados de uma pesquisa por restaurantes, consistindo na informação sobre os restaurantes que existem na

vizinhança do utilizador, será possível utilizar um **método de adaptação** que irá combinar técnicas de cálculo da relevância com filtragem, de modo a adaptar a informação apresentada de acordo com os **contextos** da localização do utilizador e dos diferentes cenários meteorológicos (Figura 4.13).

Na Figura 4.14, é apresentado o fluxo de informação para a adaptação às condições meteorológicas e à obtenção e utilização dos respectivos contextos.

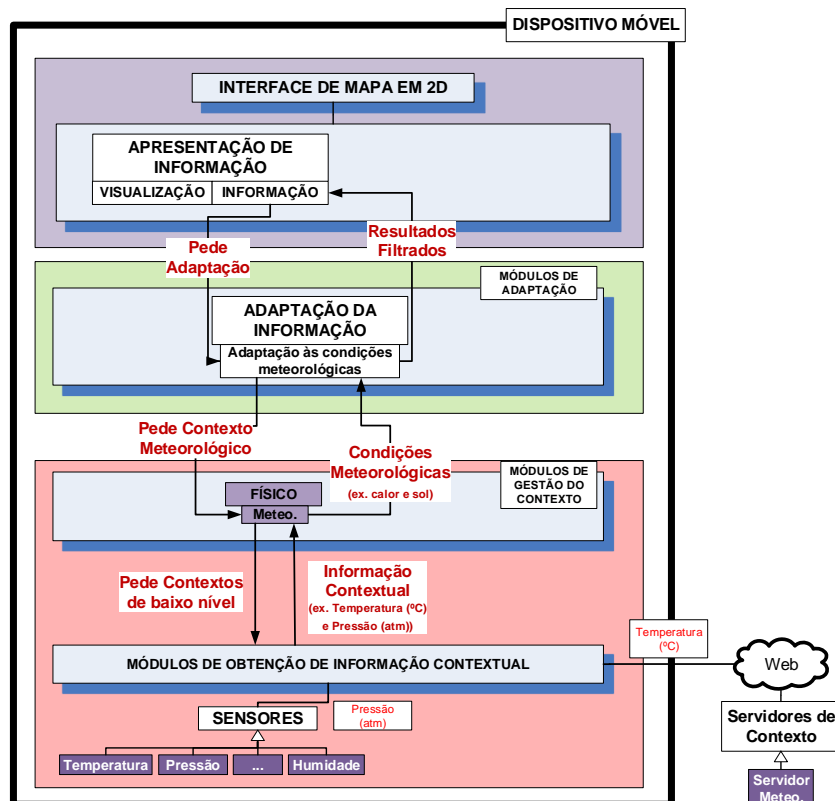


Figura 4.14. Exemplo de fluxo de informação

Assim, o método de adaptação responsável por filtrar a informação de forma a obter os dados mais relevantes irá interrogar a **Camada de Gestão de Contextos**, de forma a perceber quais os diferentes contextos agregados que estão disponíveis para ser utilizados, requerendo de seguida a informação contextual ao módulo responsável pelas condições meteorológicas.

O módulo das condições meteorológicas irá, por sua vez, comunicar com os **Módulos de Gestão de Informação Contextual** que possam fornecer informação contextual, atómica, relevante para o cálculo do contexto “Condições Meteorológicas”, e utilizar a informação acerca da sua precisão, idade e tipo de sensor para escolher os contextos mais adequados.

Como exemplo, caso existam, simultaneamente, contextos disponíveis através dos sensores do dispositivo e através de servidores de informação meteorológica, poderá ser feita uma opção pela utilização dos dados da pressão atmosférica do dispositivo, por serem mais actuais e com

boa precisão, e da temperatura obtida pelo servidor, devido à alta taxa de erro associada ao sensor do dispositivo.

Após obter os contextos atômicos necessários, o módulo de contexto agregado deverá retornar o contexto calculado ao método de adaptação que o pediu. Este método, após receber a informação contextual irá então ser capaz de seleccionar quais os resultados mais relevantes para o cenário meteorológico que se verifica naquela localização e momento específico. Por exemplo, se está calor e sol, restaurantes com uma esplanada poderão ter maior relevância do que teriam caso estivesse a chover ou muito frio. Na Figura 4.15 é apresentado um exemplo de uma visualização com todos os resultados apresentados, e as visualizações adaptadas aos respectivos contextos meteorológicos.

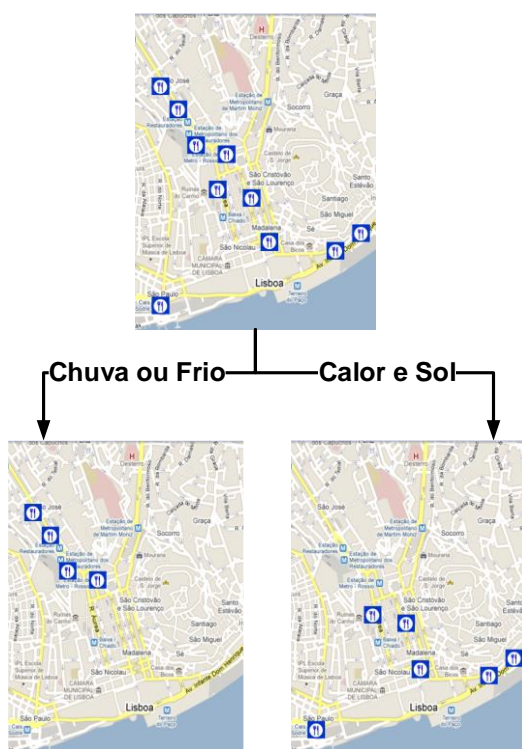


Figura 4.15. Adaptação da informação às condições meteorológicas

4.5 Sumário e Discussão

Neste capítulo foi apresentado o modelo da Chameleon que identifica e caracteriza os principais componentes utilizados no desenho e desenvolvimento de aplicações de VA de informação para dispositivos móveis.

Assim, foram identificados os diferentes contextos de uso que existem em ambientes de mobilidade, os quais foram de seguida categorizados, utilizando um modelo geral de contexto, não limitado a domínios específicos, que consiste em cinco categorias: Contexto do Utilizador, Contexto Físico, Contexto Temporal, Contexto Computacional e Contexto Histórico.

Foram também classificados os diferentes objectos, passíveis de ser adaptados, em aplicações de visualização de informação, nas categorias de objectos de Informação, Visualização e Interação.

Deste modo, utilizando as classificações anteriores, foi possível identificar diversos métodos de adaptação, que podem ser relevantes para as aplicações de visualização de informação em dispositivos móveis, os quais podem ser classificados numa matriz que relaciona as categorias dos objectos que são adaptados, com a categoria dos contextos cuja informação é utilizada para proceder a essa adaptação.

As classificações propostas permitem categorizar correctamente os diferentes métodos de adaptação existentes e os objectos e contexto com que se relacionam. São ainda suficientemente abrangentes, permitindo a utilização de novas fontes de informação contextual que tornem disponíveis novos contextos de uso, que poderão ser incluídos nas categorias propostas.

Utilizando o conhecimento obtido através destas categorizações, e da compreensão da forma como se relacionam os diferentes componentes de uma aplicação de VA, foi proposta uma infra-estrutura conceptual de *middleware*, denominada Chameleon que pretende gerir a relação entre os contextos de uso, os métodos de adaptação que usam esses contextos e, por último, os objectos a ser adaptados. A Chameleon tem como objectivo ser um modelo conceptual que serve de base para a criação de aplicações de VA de informação móveis.

A Chameleon utiliza uma organização independente da aplicação, com camadas independentes entre si, e um modelo geral de contexto, o que permite que possa ser utilizada em diferentes domínios e recorrendo a um conjunto diversificado de contextos de uso. Para tal, a informação contextual é obtida recorrendo a fontes de informação diversificadas, como por exemplo, sensores integrados no dispositivo, bases de dados, ou servidores de informação contextual, acessíveis através da Internet.

A organização proposta utiliza uma abordagem que divide os diversos componentes existentes em três camadas independentes, uma camada de gestão dos objectos de adaptação, a camada que gere os métodos de adaptação e a camada que gere os contextos de uso.

No caso da camada de gestão dos contextos, são utilizadas duas subcamadas responsáveis por gerir os contextos atómicos e agregados, respectivamente. Deste modo, a camada inferior é responsável por gerir os módulos que acedem directamente às diferentes fontes de informação contextual de baixo nível, enquanto a camada superior agrega esta informação gerando contextos de alto nível.

Para que seja possível gerir correctamente a informação contextual obtida através de fontes com características distintas, foi necessário integrar mecanismos que permitam calcular a

qualidade dos contextos obtidos e filtrar estes de modo a utilizar, em cada instante, os mais adequados. Deste modo, a possibilidade de obtenção de informação, para cada contexto, acerca da idade, precisão e tipo do sensor utilizado, permitem aos módulos responsáveis pelo cálculo de contextos de alto nível estimar a qualidade geral do contexto calculado. É assim possível, aquando do cálculo de contextos de alto nível, decidir, entre as diferentes alternativas disponíveis, quais os contextos de baixo nível que devem ser utilizados.

A proposta de uma infra-estrutura conceptual como a Chameleon permite colmatar algumas das limitações encontradas nas organizações existentes. Assim, como é apresentado na Tabela 4.2, utilizando a taxonomia de classificação apresentada na secção 3.4, é possível classificar a Chameleon como utilizando uma Representação de contexto que utiliza um Modelo Geral e um Acesso aos contextos através de uma camada de *Middleware*. Relativamente ao Processamento disponível, foram integradas funcionalidades de Agregação de contextos, utilização de contextos Históricos, e cálculo da Qualidade dos contextos, permitindo a sua Filtragem de modo a utilizar, em cada instante, os mais adequados.

Tabela 4.2. Classificação do modelo de organização da Chameleon

	CASS	Proteus	Active C.A.F.	Papakonstatinou	CAPIM	Dynamix	Chameleon
Acesso							
<i>Middleware</i>	✓	✓		✓		✓	✓
Serviços			✓		✓		
Representação							
Modelo Geral	✓				✓		✓
Domínio Esp.		✓	✓				
Sem Modelo				✓		✓	
Processamento							
Histórico	✓						✓
Agregação	✓		✓	✓	✓		✓
Filtragem				✓	✓		✓
Segurança / Qualidade					✓	✓	✓

Nos capítulos seguintes irão ser apresentados os protótipos de aplicações de VA como prova de conceito da infra-estrutura proposta pela Chameleon. Adicionalmente, estes protótipos propõem novos métodos de adaptação da visualização ou diferentes modos de obtenção de informação contextual no domínio da VA de informação em dispositivos móveis.

Capítulo 5

Adaptação da Visualização à Localização e Orientação

Este capítulo descreve a concepção e desenvolvimento de um protótipo de uma aplicação de VA para dispositivos móveis baseada na Chameleon. Este protótipo é uma prova de conceito do modelo descrito no capítulo quatro.

Neste protótipo são propostos novos métodos de adaptação baseados nos contextos de orientação e localização do utilizador que adaptam a informação apresentada e o modo como esta é visualizada (Aguar, Carmo, Pombinho e Afonso, 2009; Pombinho, Carmo, Afonso e Aguiar, 2010a; Pombinho, Carmo, Afonso e Aguiar, 2010b).

Este capítulo tem início com o contexto e motivação para a concepção de um sistema adaptado à localização e orientação do utilizador e a apresentação dos sistemas relacionados. Na secção 5.2 é apresentado o algoritmo de pesquisa proposto e, na secção 5.3, a interface com o utilizador. Na secção 5.4 é descrito o protótipo desenvolvido utilizando o modelo da Chameleon. Na secção 5.5 é apresentada a avaliação feita ao protótipo e, finalmente, na secção 5.6 são discutidas as considerações finais sobre o protótipo.

5.1 Motivação

Como já foi referido anteriormente, o trabalho contido neste documento teve como objectivo estruturar a criação de sistemas de VA em dispositivos móveis. Foi proposto o modelo da Chameleon que tem como objectivo servir de base ao desenvolvimento deste tipo de sistemas. Adicionalmente, pretendia-se também utilizar o modelo da Chameleon para propor novas técnicas de adaptação ao contexto, que pudessem dar um contributo à área de visualização de informação em dispositivos móveis.

Deste modo, no desenvolvimento do primeiro protótipo, optou-se por explorar técnicas de identificação de pontos de interesse.

A integração de sensores de localização em dispositivos móveis promoveu o desenvolvimento de serviços baseados na localização do utilizador. Sistemas de navegação automóvel, como o TomTom Navigator (TomTom, 2015), entre outros, e sistemas de pesquisa de pontos de interesse, são exemplos deste tipo de serviços. Apesar de estes sistemas facilitarem a pesquisa de pontos de interesse, é comum que existam situações em que é difícil ao utilizador associar os símbolos apresentados à sua localização real.

A necessidade de associar pontos de interesse aos objectos reais que representam, aparece em cenários onde, num determinado local, são apresentados diversos pontos de interesse e é difícil de identificar correctamente quais os objectos físicos a que correspondem. Como exemplo, a identificação de dois monumentos localizados próximo um do outro e com arquitecturas semelhantes, como igrejas, ou a identificação de espécies de plantas num parque natural.

Num trabalho anterior, foi desenvolvido o sistema MoViSys que permitia a visualização de pontos de interesse num mapa, num dispositivo móvel, baseado nas preferências do utilizador e na sua localização (Pombinho, 2008). Desse trabalho concluiu-se que existia a necessidade de enriquecer a visualização dos pontos de interesse em mapas. Um dos objectivos do protótipo, descrito neste capítulo, é o desenvolvimento de métodos que permitam a associação entre os pontos de interesse apresentados na aplicação, com os objectos do mundo real que representam.

À data do início do desenvolvimento deste protótipo, outros autores exploravam a utilização de técnicas que permitissem a identificação de pontos de interesse, utilizando as câmaras digitais presentes nos dispositivos móveis.

A utilização das câmaras dos dispositivos permite, por um lado, a utilização de algoritmos de visão para a identificação de objectos (Bruns, Brombach, Zeidler e Bimber, 2007; Albertini, Brunelli, Stock e Zancanaro, 2005) ou a interacção com o dispositivo através do reconhecimento dos movimentos feitos com o mesmo (Hannuksela, Sangie e Haikkilä, 2007; Haro, Mori, Capin e Wilkinson, 2005). Por outro lado, possibilita a utilização de técnicas de realidade aumentada para apresentar informação sobre os objectos reais vistos através da câmara do dispositivo (Rohs, Schöning, Raubal, Essl e Krüger, 2007). Normalmente, nestas abordagens, a identificação de objectos específicos é baseada na análise da imagem ou na utilização de marcadores visuais. No primeiro caso, é necessário primeiro seleccionar um conjunto de objectos que possam ser identificados e, no último, é necessário que os marcadores visuais estejam colocados nos objectos que se pretende venham a ser reconhecidos. Em ambos os casos, o âmbito da aplicação destas técnicas é bastante restringido.

Uma alternativa para a identificação de pontos de interesse é a obtenção da posição e da orientação do dispositivo. Este tipo de contexto de uso começou a ser utilizado nos primeiros

sistemas de navegação automóvel. No entanto, neste tipo de aplicações, a orientação apenas podia ser obtida através da análise do deslocamento efectuado. Se o utilizador não se estivesse a mover, ou estivesse a andar devagar com deslocações não lineares, a orientação não seria correctamente calculada.

O aparecimento de novos dispositivos que dispõem de uma bússola digital integrada promove o desenvolvimento de serviços baseados na orientação do utilizador. Por exemplo, o conceito do GeoWands (Egenhofer, 1999) que permite a identificação de objectos reais, ao apontar um dispositivo na sua direcção, foi proposto em diversas aplicações.

Wasinger, Stahl e Krüger (2003) propõem uma plataforma para tarefas de navegação pedestre que combina o reconhecimento de voz com o reconhecimento de gestos. Através desta plataforma é possível aos utilizadores perguntarem ao sistema “o que é isto?” ao mesmo tempo que apontam o dispositivo em direcção a um ponto de interesse, de forma a obter a informação desejada.

Simon, Fröhlich, Obernberger e Wittowetz (2007) melhoraram o conceito proposto no trabalho anterior, adicionando informação acerca da inclinação do dispositivo e utilizando um modelo tridimensional do ambiente, em vez de um mapa 2D. Deste modo, é possível estimar qual o cone de visão para onde o utilizador está a apontar o dispositivo.

Por último, em simultâneo com o desenvolvimento do protótipo descrito neste documento, Karppischek, Marforio, Godenzi, Heuel e Michahelles (2009), propuseram a aplicação do conceito do GeoWands, utilizando a câmara do dispositivo para apresentar informação sobre os pontos de interesse numa vista de realidade aumentada. Esta proposta foi utilizada em alguns sistemas, entretanto disponibilizados, como o Wikitude (Wikitude, 2010) e o Layar (2010).

Apesar de algumas aplicações referidas anteriormente fornecerem uma forma do utilizador identificar o ponto para o qual está a apontar, utilizando a orientação do dispositivo, estas não lhe permitem uma fácil identificação de quais os outros pontos de interesse que o rodeiam, ou não apresentam mecanismos que facilitem a identificação de alguns pontos de interesse quando na presença de problemas, como a precisão da orientação dada pela bússola, ou pontos de interesse demasiado próximos uns dos outros.

Como tal, um dos desafios era explorar técnicas, que solucionassem estes problemas, e que permitissem a pesquisa de pontos de interesse, utilizando a localização do utilizador e a sua orientação, tirando partido dos sensores de localização (GPS) e da bússola digital, integrados no dispositivo.

Para tal foi desenvolvido um protótipo cuja interface inclui a captura de imagens em tempo real, sobre as quais é desenhada uma rosa-dos-ventos e na qual são marcados os pontos de interesse. Desta forma é possível fornecer pistas ao utilizador sobre outros resultados na

vizinhança e permitir, deste modo, uma melhor percepção da orientação geográfica do utilizador e a fácil identificação dos objectos que o rodeiam.

Adicionalmente, para facilitar a identificação e associação dos pontos aos seus pares físicos, são apresentadas fotografias, armazenadas, dos pontos de interesse. Em cada instante, é mostrada, para um ponto de interesse, a fotografia que foi tirada na localização e orientação que mais se assemelha à actual localização e orientação do utilizador.

Finalmente, a cada ponto de interesse está associada a sua área de implantação, permitindo tratar situações em que o utilizador esteja demasiado próximo de um ponto de interesse de grandes dimensões.

5.2 Algoritmo de Pesquisa Adaptada à Orientação

O objectivo deste protótipo é a identificação de quais os pontos de interesse que estão localizados na direcção para onde se está a apontar o dispositivo móvel. No entanto, optou-se por efectuar uma pesquisa inicial ao repositório de pontos de interesse, que identifica todos os existentes numa área quadrangular, alinhada com os eixos principais e centrada na localização do utilizador. Como resultado desta pesquisa, a lista de pontos de interesse que é obtida é então organizada tendo em conta a localização dos pontos em relação à localização do utilizador. A Figura 5.1 mostra um exemplo simples do modo como o algoritmo funciona: na imagem da esquerda, a área de pesquisa é definida e é tida em conta a localização das áreas correspondentes a cada ponto de interesse; na imagem do meio a área é dividida (neste caso em oito áreas) e os pontos de interesse são associados a cada uma das áreas; finalmente, na imagem da direita, a direcção para a qual o dispositivo está a ser apontado é seleccionada. Para uma melhor compreensão das imagens, os ícones que representam os pontos de interesse foram ligeiramente deslocados para permitir uma melhor visualização das suas áreas de implantação.



Figura 5.1: Definição das áreas ocupadas por cada ponto de interesse e associação a cada uma das regiões

A razão pela qual é feita esta pesquisa inicial deve-se à melhoria da eficiência e flexibilidade do sistema, tendo o seguinte objectivo:

- O utilizador pode efectuar diversas pesquisas numa mesma localização, utilizando diferentes orientações.
- A pesquisa numa determinada direcção deverá corresponder à intersecção com um cone de visão, ainda que limitado.

Se for utilizada uma área quadrangular de pesquisa, alinhada com os eixos, os cálculos necessários para determinar a inclusão dos pontos de interesse nessa mesma área são bastante simplificados, quando comparados com as intersecções com outros tipos de regiões. Este facto pode reduzir substancialmente a carga computacional ao efectuar interrogações a bases de dados com muitos elementos. É importante referir que esta opção é transparente para o utilizador, que apenas necessita de especificar quais os tipos de pontos de interesse em que está interessado e qual o raio da pesquisa, não sendo necessário que este esteja consciente do tipo de cálculos efectuado anteriormente.

Como tal, optou-se por definir uma área de pesquisa quadrangular, centrada na localização do utilizador, e de seguida organizar os pontos de interesse obtidos para essa área, de acordo com as regiões em que se divide o espaço de pesquisa.

5.2.1 Definição da Área de Pesquisa

Numa primeira fase é necessário efectuar a obtenção das coordenadas do dispositivo GPS, integrado no dispositivo, de forma a determinar qual o local onde o utilizador se encontra.

É ainda necessário que o utilizador especifique a distância, em metros, entre a sua localização geográfica e os limites da área de pesquisa. Para otimizar a pesquisa e exploração no espaço circundante ao utilizador, e sem prejuízo no resultado final, foi considerada uma fronteira quadrangular, alinhada com os eixos principais que correspondem às direcções Oeste-Este e Sul-Norte, centradas na localização do utilizador.

Uma vez que as coordenadas dos pontos de interesse são coordenadas geográficas, é também necessário determinar quais os intervalos de variação de latitude e longitude para os pontos na área de pesquisa.

5.2.2 Determinação da Localização dos Pontos de Interesse em Relação ao Utilizador

Numa segunda fase é necessário determinar-se quais os pontos de interesse que estão no interior da área de pesquisa definida pelo utilizador. De seguida, a localização dos pontos de interesse em relação ao utilizador é identificada.

Caso o utilizador se encontre na proximidade de um edifício de grandes dimensões (ocupando um grande volume), este poderá ser visível em mais do que uma orientação. Para que a colocação dos pontos de interesse em cada localização seja mais próxima da real disposição dos edifícios que lhes correspondem, foi criada uma área limite para cada um deles que tenta replicar a real área ocupada pelos edifícios.

Para cada uma destas áreas, é calculada a localização e a orientação relativa ao utilizador, permitindo assim calcular quais os pontos que estão no interior da área para a qual o utilizador está orientado.

Por omissão, a área envolvente está dividida em oito regiões que correspondem, respectivamente, às áreas associadas com os pontos cardeais e às direcções intermédias (Figura 5.2, esquerda), sendo possível utilizar uma divisão adicional, ficando a área dividida em 16 regiões (Figura 5.2, direita).

Para cada ponto de interesse, são determinadas as regiões da área de pesquisa a que estão associados através do cálculo de quais as regiões atravessadas pelas suas áreas de implantação.

A área limite para cada ponto de interesse pode corresponder aos limites actuais da sua área bruta de implantação, quando esta é conhecida, ou a uma área quadrada, utilizando um valor por omissão que é dependente da categoria a que pertence o ponto de interesse.

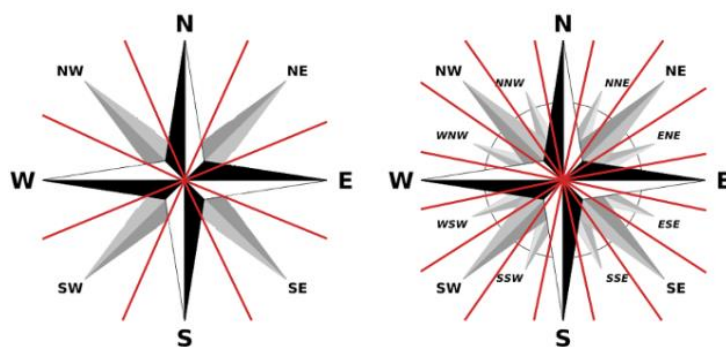


Figura 5.2: Divisão da área de pesquisa considerando oito ou dezasseis regiões

Após terem sido associados os pontos de interesse a cada orientação, uma vez que cada uma destas pode ter mais que um ponto de interesse associado, todos são ordenados por ordem crescente de distância ao utilizador.

5.3 Interface com o Utilizador

A interface do protótipo foi desenhada para permitir a pesquisa de pontos de interesse na vizinhança da actual localização do utilizador, ajudando-o na identificação visual dos objectos reais a que correspondem os resultados apresentados. Por esta razão foi decidido combinar, na

interface, a apresentação de imagens armazenadas de cada ponto de interesse, com imagens capturadas em tempo real pela câmara do dispositivo. Desta forma, é reforçada a percepção da utilização do dispositivo como ponteiro na direcção em que o utilizador pretende efectuar a sua pesquisa.

Se um determinado ponto de interesse corresponder ao objecto para o qual se está a apontar, a sua imagem apresentada deverá corresponder à imagem capturada em tempo real pelo dispositivo. Para que isto seja possível deverão existir diversas imagens armazenadas, para cada ponto de interesse, correspondendo às diferentes possibilidades de observação consoante a orientação e distância ao ponto. Adicionalmente, a imagem armazenada que é apresentada em cada instante, deverá ser aquela que foi capturada numa localização e orientação mais próxima do local e orientação em que o utilizador se encontra em cada momento.

Apesar da presença de diversas imagens para cada ponto de interesse poder melhorar a comparação entre imagens armazenadas e imagens capturadas em tempo real e, consequentemente, a identificação de um determinado ponto de interesse pelo utilizador, é importante notar que, para prevenir uma limitação à viabilidade do sistema, estas imagens não são obrigatórias. Por este facto, alguns pontos de interesse podem não ter imagens armazenadas disponíveis. Nestes casos, como alternativa, será apresentado um ícone associado com a categoria a que corresponde o ponto de interesse.

A interface é composta por uma interface de configuração e uma interface de pesquisa que utiliza a informação sobre a localização e a orientação.

5.3.1 Interface de Configuração

A interface de configuração permite ao utilizador personalizar a área de pesquisa que este pretende analisar e activar os sensores utilizados. O dispositivo poderá então obter a localização geográfica do utilizador, i.e. a sua latitude e longitude, e também calibrar a bússola. Se a activação for bem-sucedida, uma mensagem de retorno positiva será transmitida ao utilizador, que poderá começar a pesquisa seleccionando o botão “Start”.

Apesar de actualmente os dispositivos móveis terem evoluído significativamente ao nível da autonomia da bateria, à data da concepção deste primeiro protótipo era crucial ter uma utilização eficiente dos recursos disponíveis de comunicações sem fios. Adicionalmente, esta opção minimiza os problemas decorrentes de uma constante actualização da imagem, que poderia confundir o utilizador. Por esta razão, para evitar sobrecarregar a aplicação, as novas localizações são apenas capturadas a pedido do utilizador. É deixado ao critério do utilizador avaliar se houve uma alteração significativa na localização que justifique que a pesquisa seja actualizada, e que uma nova redistribuição dos pontos de interesse pelas diferentes orientações seja feita.

5.3.2 Interface de Pesquisa

Na interface de pesquisa, os pontos de interesse que são obtidos, como resultado da pesquisa no repositório de informação, são apresentados e é possível obter informação mais detalhada sobre os mesmos (Figura 5.3).

A interface está dividida em três áreas principais: Área de Imagem em Tempo Real, Área da Bússola e Área de Ponto de Interesse.

Na Área de Imagem em Tempo Real (Figura 5.3-1), as imagens que são capturadas em tempo real, através da câmara integrada no dispositivo, são apresentadas, permitindo ao utilizador verificar a orientação para a qual está a apontar o dispositivo. Esta área tem sobreposta uma representação da bússola que permite notificar o utilizador sobre a sua orientação. Esta área de interface ajuda o utilizador a comparar as imagens apresentadas acerca de um determinado ponto de interesse, com as imagens do mundo real que está a observar.

Na Área da Bússola (Figura 5.3-2), a representação da bússola digital é composta pelas direcções cardeais e intermédias. A orientação do dispositivo é apresentada na parte superior da direcção vertical, como indicado pela bússola. Por baixo da bússola existe um botão “Turn ON/Turn OFF” que, respectivamente, activa e desactiva a actualização dinâmica da orientação da bússola, permitindo dois tipos alternativos de interacção que serão descritos na próxima secção.

Quando existem resultados para uma dada orientação, pequenos círculos coloridos são colocados sobre as extremidades das diferentes orientações da bússola. Estes círculos podem ter cor vermelha ou verde. O círculo será verde quando essa é a direcção do ponto de interesse actualmente seleccionado. Os outros círculos que possam, eventualmente, existir, terão cor vermelha uma vez que o ponto que representam não está actualmente a ser visualizado. Para facilitar a sua identificação, o círculo verde tem um raio ligeiramente superior, uma vez que a aplicação tem como objectivo ser utilizada no exterior, onde as condições de luminosidade são variáveis. Por outro lado, esta distinção entre círculos, através da utilização de diferentes tamanhos, também permite facilitar a sua correcta identificação por utilizadores com daltonismo.

Por último, na Área de Ponto de Interesse (Figura 5.3-3), existem quatro subáreas que apresentam:

- Uma imagem armazenada do ponto de interesse que está actualmente seleccionado (Figura 5.3-3(a)).
- Uma seta que permite, sucessivamente, seleccionar os diferentes pontos de interesse, numa sequência horária (Figura 5.3-3(b)), ou anti-horária (Figura 5.3-3(c)).
- O identificador do ponto de interesse que está seleccionado (Figura 5.3-3(d)).

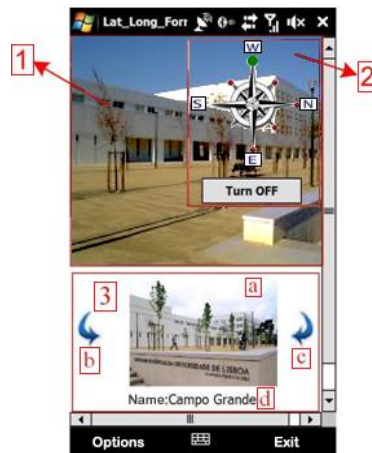


Figura 5.3: Áreas de interface

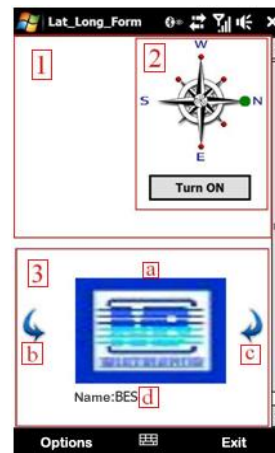


Figura 5.4: Interface em modo estático

Através da selecção da imagem armazenada é possível visualizar informação adicional sobre o ponto de interesse seleccionado numa nova janela. Se não existir nenhum ponto de interesse activo, esta área permanece vazia. Por omissão, o ponto de interesse seleccionado corresponde a aquele que está mais próximo do utilizador, na direcção para o qual o dispositivo está a apontar.

Para poder ver imagens e informação sobre outros pontos de interesse localizados na mesma direcção, é possível utilizar uma das duas setas. Para visualizar os pontos de interesse localizados noutras direcções existem duas alternativas: apontar o dispositivo na direcção desejada, ou pressionar o círculo colorido existente na bússola, na direcção desejada.

De seguida, irão ser descritos os dois modos alternativos de interacção com a interface.

5.3.3 Modo Dinâmico e Modo Estático

Para permitir o acesso à informação acerca dos diferentes pontos de interesse que existem na área de pesquisa, de uma forma flexível, existem dois modos de interacção: dinâmico e estático.

No modo dinâmico, a representação da bússola roda de acordo com a movimentação e rotação do dispositivo e o ponto de interesse que se encontra mais próximo na direcção actual, caso exista, é apresentado na Área de Ponto de Interesse (Figura 5.3-3(a)). Sobreposto à bússola, o círculo verde estará posicionado no topo, mostrando a direcção actual. Através da utilização das setas (Figura 5.3-3(b) e 3(c)) é possível percorrer, sequencialmente, os pontos de interesse que existem na actual direcção. Por omissão, está activado o modo dinâmico.

No modo estático, o movimento da bússola é desactivado (Figura 5.4). Para seleccionar este modo pode-se utilizar o botão “Turn OFF” na Área da Bússola ou, em alternativa, seleccionar um dos círculos vermelhos na orientação desejada. Neste modo é possível obter informação sobre todos os pontos de interesse que existem na vizinhança do utilizador independentemente da orientação do dispositivo. Quando se selecciona uma orientação diferente, o círculo irá mudar

para verde e aumentar de tamanho. O ponto de interesse que é apresentado, por omissão, é aquele que se encontra mais próximo do utilizador na orientação seleccionada. Para seleccionar os seguintes, podem ser utilizadas uma das duas setas (Figura 5.4-3(b) ou 3(c)). Após terem sido percorridos todos os pontos de interesse na direcção actual, serão apresentados os pontos existentes na direcção seguinte. Como exemplo, na Figura 5.4, o ponto de interesse activo está localizado a Norte do utilizador, uma vez que esta é a orientação na qual se encontra o círculo verde. Neste exemplo, quando a bússola foi desactivada, o dispositivo estava a apontar para Oeste. No modo estático a captura de imagens em tempo real é desactivada. Esta decisão deve-se à possibilidade de se gerarem estados de incongruência em que a imagem capturada não corresponde ao ponto de interesse actualmente seleccionado devido à bússola não estar a ser actualizada (Figura 5.4).

Para retornar ao modo de interacção dinâmico o utilizador poderá utilizar o botão “Turn On”.

5.4 Implementação de um Protótipo de VA com Adaptação à Orientação

Este protótipo foi desenvolvido para Pocket PC, com o sistema operativo Windows Mobile 6.1, utilizando o .Net Compact Framework 3.5, DirectShow para a captura de imagens e a linguagem de programação C#.

Quando se iniciou o desenvolvimento deste protótipo existiam ainda poucos dispositivos móveis com uma bússola digital incorporada. Adicionalmente, aqueles que dispunham de bússolas integradas tinham, por vezes, erros de precisão significativos, principalmente devido a erros de inclinação e a flutuações no campo magnético causadas pela proximidade do próprio dispositivo móvel. Por esta razão, para determinar a orientação do dispositivo, foi utilizada uma bússola da LEGO (2009), utilizada em aplicações de robótica, que podia ser colocada suficientemente afastada do dispositivo para minimizar as interferências, e inclinada com um ângulo correcto. Esta bússola estava ligada ao dispositivo móvel através de um dispositivo NXT (2009), também da LEGO, que transmitia a informação da orientação da bússola através de Bluetooth.

Como repositório de pontos de interesse, foi utilizada a base de dados criada para o sistema MoViSys (Pombinho, 2008), utilizando um servidor de SQL. Foi, no entanto, necessário adicionar informação sobre cada ponto de interesse, nomeadamente a informação sobre as áreas de implantação e as imagens, relativas a pelo menos uma das orientações. A orientação e localização de cada imagem capturada foi armazenada, permitindo a escolha da mais adequada a apresentar em cada situação.

A implementação deste protótipo, baseado no modelo da Chameleon, utiliza uma interface de realidade aumentada na qual a representação da bússola, os pontos de interesse e as respectivas imagens são os **objectos de adaptação** (Figura 5.5). A representação da bússola e as imagens dos pontos de interesse utilizam **métodos de adaptação** de Visualização e os resultados dos pontos de interesse são adaptados por um método de Informação. Estes métodos de adaptação utilizam **Contextos** do Utilizador, nomeadamente a sua localização e orientação, obtidos através dos respectivos sensores de *hardware*.

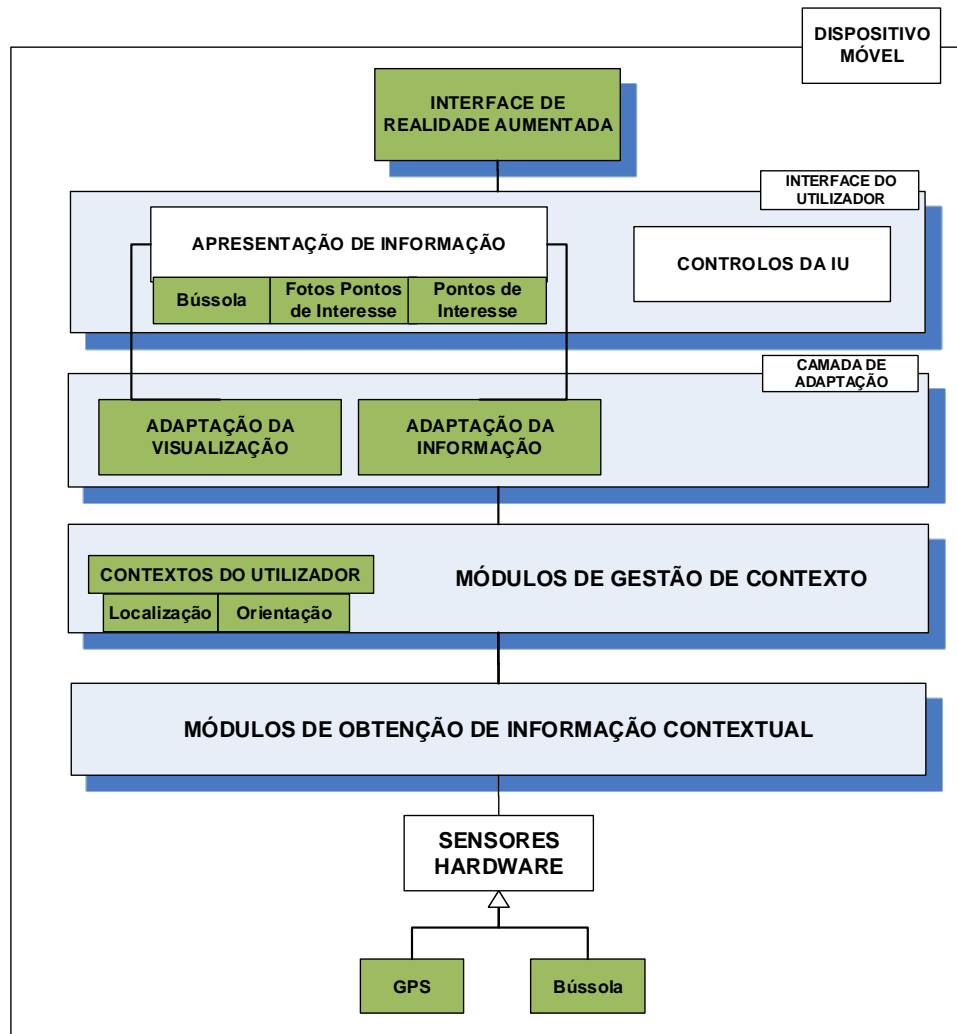


Figura 5.5: Arquitectura do protótipo

Na Figura 5.6 é possível ver a matriz de adaptação correspondente a este protótipo. O conhecimento dos contextos de localização e orientação, pertencentes à categoria de Contextos do Utilizador, permite que sejam efectuadas adaptações à informação apresentada. Assim, a Informação é filtrada de modo a mostrar apenas os pontos de interesse em redor do utilizador e identificando qual o ponto para onde o dispositivo está a apontar. Por outro lado, é também possível adaptar a Visualização ajustando a representação da bússola aos pontos em redor e

5.5.2 Participantes

Neste estudo a aplicação foi testada por 10 participantes, seis homens e quatro mulheres. As suas idades estavam compreendidas entre 18 e 60 anos. A sua formação era também diversa: quatro vinham de áreas de administração, três de ciências naturais, dois de artes e um de informática.

Todos os participantes utilizavam frequentemente dispositivos móveis (quatro diversas vezes por semana e os restantes diariamente), mas apenas seis tinham previamente utilizado um ecrã táctil, e somente dois tinham anteriormente utilizado dispositivos com bússola.

5.5.3 Tarefas

Para simular diversos cenários da vida real, foi pedido aos participantes para executar um conjunto de quatro tarefas.

Primeira Tarefa – Na tarefa inicial foi pedido que utilizassem a aplicação para procurar e identificar, no mundo real, um hotel que estava visível, mas não tinha características de identificação fácil. Este hotel, apesar de rodeado por outros edifícios, não tinha outros pontos de interesse em redor.

Segunda Tarefa – Na tarefa seguinte, foi pedido o inverso. Foram apresentadas aos participantes, no mundo real, duas igrejas que tinham arquitecturas similares e que estavam localizadas uma em frente à outra, e foi pedido que utilizassem a aplicação para identificar o nome das igrejas bem como alguns detalhes adicionais.

Terceira Tarefa – Na terceira tarefa, os participantes foram posicionados no meio de um largo de grandes dimensões e foi-lhes pedido que explorassem o que se encontrava em seu redor, identificando os pontos de interesse que estavam na sua vizinhança.

Quarta Tarefa – A última tarefa era semelhante à primeira, mas com os participantes localizados num largo de dimensões moderadas, com diversos restaurantes, e com o objectivo de encontrar um restaurante específico com o auxílio da aplicação.

5.5.4 Resultados

Em relação aos dois primeiros cenários, pretendia-se compreender se os utilizadores tinham problemas quando executavam duas tarefas relativamente simples: identificar onde, no mundo real, se encontrava um ponto de interesse isolado e a identificação de qual o ponto de interesse a que corresponde um certo edifício.

Em relação à primeira tarefa, todos os participantes identificaram correctamente o hotel sem terem tido problemas. Apenas um dos participantes escolheu seleccionar o círculo que

representava o hotel na bússola, para que fosse possível visualizar a imagem armazenada e de seguida encontrar o hotel visualmente. Todos os restantes escolheram rodar na direcção em que a bússola mostrava o hotel e apenas então comparar a imagem capturada em tempo real com a imagem armazenada do ponto de interesse.

De forma semelhante, a segunda tarefa também foi completada sem dificuldades. Todos os participantes apontaram o dispositivo na direcção de cada uma das igrejas identificando correctamente cada uma delas.

Na terceira tarefa queria-se perceber quão capaz era a interface em permitir a correcta identificação, por parte dos utilizadores, de todos os pontos de interesse que existiam na vizinhança. Pretendia-se saber, de um conjunto de 10 pontos de interesse que existiam no largo onde estavam os participantes, quantos pontos eram identificados e de que forma os participantes escolhiam interagir com a aplicação para executar a tarefa. Seis dos participantes escolheram rodar sobre si próprios para visualizar todo o largo através do dispositivo. Os restantes quatro utilizaram as setas sequenciais para percorrer todos os pontos de interesse.

A utilização das setas para explorar os pontos de interesse obteve melhores resultados, uma vez que os participantes que escolheram esta técnica conseguiram percorrer, sequencialmente, todos os pontos de interesse, enquanto os que rodaram não se aperceberam de alguns dos pontos (Figura 5.7). Isto deve-se a duas razões: Por um lado, a velocidade a que o dispositivo é capaz de actualizar a bússola é, por vezes, mais lenta do que a velocidade a que os utilizadores rodam, criando falhas na informação. Por outro lado, quando os utilizadores rodam (no modo dinâmico) a aplicação selecciona os pontos de interesse que vai mostrando, calculando qual aquele que se encontra mais próximo, na região para onde o utilizador está virado. Esta opção foi escolhida para minimizar a carga computacional da aplicação mas, de facto, acaba por limitar o número de pontos de interesse que pode ser visto ao número de regiões consideradas.

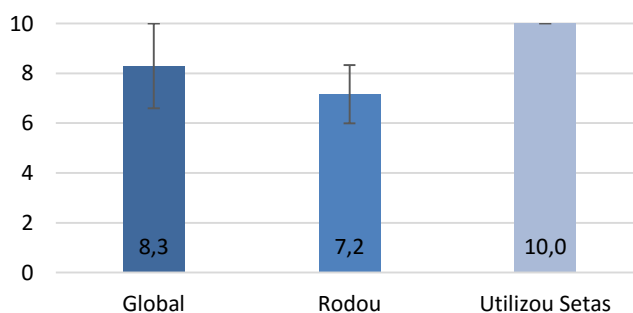


Figura 5.7: Média do número de pontos de interesse identificados, para cada tipo de pesquisa

O problema da rotação, que foi detectado na terceira tarefa, foi também evidente na tarefa final quando os participantes tentavam identificar, no meio de um largo com diversos restaurantes,

um específico. Dos seis participantes que tentaram identificar o restaurante ao rodar, apenas três o conseguiram identificar de imediato, tendo os restantes que utilizar as setas sequenciais. Quando utilizando as setas todos os participantes conseguiram identificar o restaurante facilmente, com a excepção de um que teve alguns problemas na sua identificação visual (Figura 5.8).

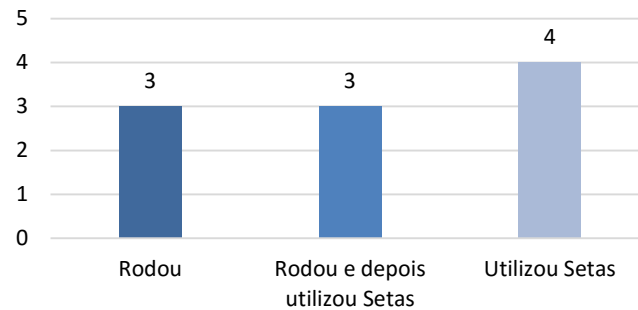


Figura 5.8: Número de utilizadores por método escolhido para a identificação do restaurante

Por último, foi pedido aos participantes para classificarem a utilidade de algumas das funcionalidades da aplicação (Figura 5.9). A bússola foi avaliada como sendo útil (média 4.9, desvio padrão 1.0). No entanto, a maioria dos participantes classificou a apresentação dos pontos de interesse na representação da bússola como confusa (média 2.7, desvio padrão 0.9). A principal razão para este resultado deve-se às limitações detectadas na terceira e quarta tarefa, onde os pontos de interesse existiam em todas as direcções e, neste caso, os círculos coloridos utilizados na interface não eram úteis para a identificação de um ponto de interesse específico. Uma sugestão dada por um dos participantes, que poderia ajudar neste tipo de cenários, era a apresentação de uma lista textual de todos os pontos de interesse existentes, permitindo ao utilizador filtrar os resultados para encontrar apenas alguns específicos.

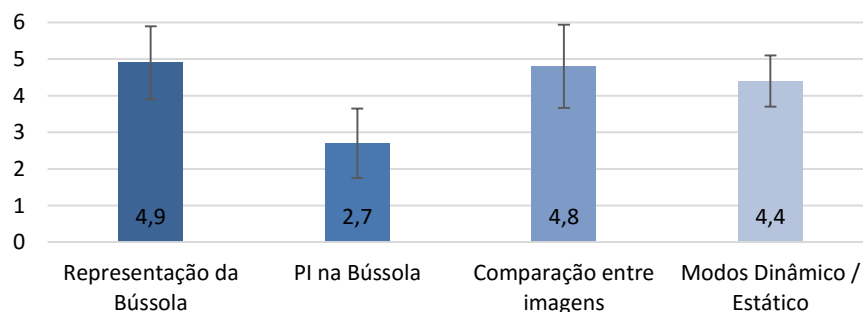


Figura 5.9: Classificação das funcionalidades da aplicação (0 = nada útil / 6 = muito útil)

A comparação entre as imagens armazenadas e as imagens capturadas em tempo real foi também considerada útil (média 4.8, desvio padrão 1.1).

Quando lhes foi perguntado sobre a possibilidade de escolherem entre o modo dinâmico e estático, os participantes acharam útil (média 4.4, desvio padrão 0.7). Seis dos utilizadores não tinham preferência entre os modos enquanto três preferiam o modo dinâmico e apenas um o modo estático.

Quando no modo estático, a maioria dos participantes concorda que a captura de imagens em tempo real seja desligada, havendo apenas um participante que discorda desta opção. Em relação à bússola, foi obtida uma resposta oposta; apenas dois participantes concordam que esteja desligada, enquanto oito pensam ser útil que continue ligada. A justificação geral para este resultado foi que, mesmo no modo estático, a bússola pode continuar a auxiliar o utilizador na compreensão de qual a orientação para onde está a olhar e, consequentemente, na ajuda à identificação visual dos pontos de interesse.

5.6 Sumário e Discussão

Neste capítulo foi apresentado um protótipo de uma aplicação consciente da localização e orientação do utilizador, permitindo a adaptação da pesquisa de pontos de interesse em dispositivos móveis. Estes contextos são obtidos através dos sensores de posicionamento e de orientação. A interface desenvolvida inclui uma indicação dinâmica da orientação do dispositivo, complementada com a captura de imagens em tempo real, utilizando a câmara do dispositivo. A adição destas imagens auxilia o utilizador na comparação das imagens armazenadas com o que está a visualizar no mundo real, ajudando na identificação dos pontos de interesse. Por omissão, o ponto de interesse seleccionado é aquele que se encontra mais próximo do utilizador, na direcção para a qual este está virado. No entanto, é possível visualizar informação sobre todos os pontos de interesse que existem no espaço de pesquisa. Através da colocação de marcas gráficas na representação da bússola no ecrã, é possível mostrar ao utilizador quais as orientações onde existem pontos de interesse.

O estudo de usabilidade que foi efectuado permitiu compreender os principais problemas existentes nesta abordagem. Em relação à apresentação dos pontos de interesse na bússola, a discussão com os utilizadores, acerca das dificuldades encontradas, indicou possíveis soluções para esta limitação. Uma possível solução passa pela sugestão dada por um dos utilizadores para o uso de uma lista textual de todos os pontos de interesse encontrados. No entanto, o próprio algoritmo de pesquisa poderá ser alterado de forma a produzir melhores resultados. Idealmente, se for possível reduzir a carga da aplicação, tornando-a mais rápida, será possível reduzir ainda mais o tamanho de cada uma das regiões ou utilizar apenas informação sobre os ângulos em que cada ponto de interesse está visível para determinar quais resultados devem ser mostrados em cada instante.

É importante referir que, desde o início da concepção e desenvolvimento deste protótipo até à elaboração deste documento, o aumento da capacidade computacional dos dispositivos torna a segunda opção bastante mais exequível, sendo possível prever uma melhoria significativa dos resultados.

Apesar da limitação identificada, a opinião geral acerca da aplicação é que esta é muito útil para explorar o ambiente envolvente e particularmente útil no tipo de cenários apresentados na segunda tarefa, que permitem aos utilizadores identificar muito facilmente um determinado ponto de interesse e obter de forma fácil, informação sobre o mesmo.

Como trabalho futuro, poder-se-ia integrar esta aplicação num sistema como o MoViSys, como forma de complementar a visualização de pontos de interesse sobre mapas. Por outro lado, a utilização de uma função de filtragem que permite escolher as categorias de pontos de interesse apresentadas e calcular a relevância dos resultados em função das preferências definidas pelo utilizador pode simplificar a tarefa de pesquisa dos pontos de interesse mais relevantes. De facto, a utilização deste tipo de quantificação de relevância, pode levar a diferentes critérios para a escolha de qual o ponto de interesse apresentado numa dada orientação.

Outro aspecto que se poderá considerar é a criação de um processo automático para a identificação de pontos de interesse que estejam no campo de visão da câmara do dispositivo. O primeiro passo está já concluído, com a organização dos pontos de interesse de acordo com a sua localização em relação ao utilizador, e a ordenação por distância. Num passo seguinte, as capacidades de captura de imagens em tempo real podem ser utilizadas para a comparação automática com as imagens armazenadas dos pontos de interesse.

Por último, este foi o primeiro protótipo desenvolvido que utilizou o modelo proposto na Chameleon. Apesar da utilização de um conjunto limitado de contextos, este protótipo serviu para propor novos métodos de adaptação, especialmente úteis para facilitar a identificação dos pontos de interesse, e serviu também como uma primeira iteração na concepção da Chameleon. Esta primeira iteração serviu como prova de conceito da estrutura principal da Chameleon, ao mesmo tempo que permitiu criar alguns dos módulos que foram utilizados nos protótipos posteriores.

Capítulo 6

Adaptação da Visualização em Ambientes Interiores

Neste capítulo é descrita a concepção e desenvolvimento de um protótipo de VA em dispositivos móveis, baseado no modelo da Chameleon. Este protótipo serve como exemplo concreto de como as várias componentes do modelo interagem. Adicionalmente o protótipo desenvolvido demonstra também a capacidade de integração de novos contextos e a criação de contextos agregados, mais complexos, utilizando a informação sobre diversos contextos atómicos.

O protótipo desenvolvido envolveu a criação de uma aplicação, para ambientes interiores (sem acesso ao GPS), na qual a informação que é apresentada é adaptada tendo em consideração a posição do utilizador no interior de um edifício, obtida através da sua orientação e aceleração (Pombinho, Afonso, e Carmo, 2010d; Pombinho, Afonso, e Carmo, 2011a).

Através da avaliação deste protótipo com utilizadores foi possível detectar quais os erros de precisão existentes na proposta inicial. Para otimizar o desempenho do nosso algoritmo, foi desenvolvido um novo protótipo que utiliza contextos obtidos no exterior (Silva, Pombinho, Afonso, e Gonçalves, 2011; Pombinho, Afonso, e Carmo, 2012a).

Na secção seguinte será descrita a motivação para a escolha do domínio aplicacional deste protótipo. Na secção 6.2 serão descritos os trabalhos mais relevantes no âmbito específico da obtenção do contexto localização em ambientes interiores. Na secção 6.3 será explicado o algoritmo e a técnica de posicionamento proposta. Na secção 6.4 irá ser apresentado o protótipo desenvolvido utilizando o modelo da Chameleon. Na secção 6.5 é descrita a avaliação realizada com utilizadores e discutidos os erros de precisão do algoritmo, os quais deram origem ao algoritmo otimizado através de contextos obtidos no exterior, que é descrito na secção 6.6. Na secção 6.7 é descrita a implementação do protótipo otimizado. Por último, na secção 6.8 são apresentadas as considerações finais sobre estes protótipos.

6.1 Motivação

A informação em tempo real sobre a localização dos utilizadores é cada vez mais utilizada num extenso número de aplicações, tão diversas como sistemas de navegação automóvel, guias turísticos ou aplicações de *geocaching*, que permitem apresentar ao utilizador informação relacionada com o local onde este se encontra.

De forma semelhante, os serviços baseados na localização dentro de edifícios (no interior) podem ser utilizados para mostrar informação relevante acerca do local onde o utilizador se encontra e ajudá-lo a navegar num edifício que desconhece, ou seguir utilizadores com necessidades especiais, crianças, ou presos num complexo prisional. Adicionalmente, a disponibilização de serviços de localização no interior pode ser utilizada para permitir que serviços de emergência possam explorar áreas desconhecidas de uma forma mais fácil e eficiente (Pahlavan, Li e Mäkelä, 2002; Jensen, Kruse e Wendholt, 2009).

Apesar de confiável e preciso quando utilizado em espaços abertos, os dispositivos de GPS necessitam de visualizar uma grande porção do céu para que seja possível calcular correctamente a localização do dispositivo. Esta limitação tem como consequência tornar os dispositivos GPS inúteis quando utilizados no interior. Adicionalmente, os sistemas de posicionamento que utilizam as redes GSM (Global System for Mobile communications) não têm precisão suficiente para identificar correctamente a posição dentro de um edifício. Como consequência, estas restrições prejudicam o desenvolvimento de aplicações baseadas na localização, que possam ser utilizados no interior de edifícios (Beauregard e Haas, 2006).

O objectivo no desenvolvimento deste protótipo é possibilitar a exploração de edifícios desconhecidos pelo utilizador e que também lhe permita obter informação sobre os diferentes pontos de interesse que possam existir no interior, próximo da posição do utilizador. Para que tal seja possível, é necessário primeiro conseguir estimar de forma correcta a localização do utilizador.

Para evitar as limitações dos sistemas de posicionamento, como o GPS, que, como referido, não funcionam em ambiente interiores, ou a utilização de infra-estruturas físicas, instaladas em cada edifício, que são simultaneamente complexas e dispendiosas, decidiu explorar-se um algoritmo que não utiliza estas infra-estruturas e recorre apenas a informação recolhida através do dispositivo móvel.

Este algoritmo permite inferir a posição de um utilizador no interior de um edifício através dos movimentos feitos por este enquanto se desloca. Para atingir este objectivo, foi utilizado um dispositivo móvel com um acelerómetro integrado que permite detectar quando o utilizador dá um passo, e uma bússola digital que permite detectar a direcção em que é dado o passo. Utilizando

esta informação, e conhecendo a planta do edifício, é possível calcular a localização do utilizador com uma precisão adequada para aplicações de visualização.

Na secção seguinte serão apresentadas as técnicas e tecnologias de posicionamento existentes para o interior de edifícios.

6.2 Técnicas de Posicionamento no Interior de Edifícios

Existem alguns trabalhos que exploram os mecanismos de posicionamento no interior de edifícios. Estes trabalhos podem ser divididos em três grandes categorias: técnicas que utilizam infra-estruturas físicas instaladas nos edifícios, explicitamente para o uso dos algoritmos de posicionamento; técnicas que utilizam infra-estruturas já instaladas, como por exemplo as redes Wi-Fi; e técnicas que utilizam os sensores instalados nos dispositivos móveis ou no próprio utilizador.

6.2.1 Infra-Estruturas Instaladas para Posicionamento Interior

Há diversas abordagens para o posicionamento interior que utilizam transmissores, instalados nos edifícios, e os correspondentes receptores, transportados pelos utilizadores.

Hiyama, Yamashita, Kuzuoka, Hirota e Hirose (2005) propõem um guia para museus que utiliza transmissores de infravermelhos instalados com intervalos de 1 metro no tecto do Museu Nacional de Ciência do Japão, em Tóquio, e um receptor de infravermelhos integrado num auscultador ligado ao dispositivo com o guia do museu. Os transmissores de infravermelhos cobrem áreas sobrepostas, permitindo aos receptores reconhecer que o utilizador se encontra entre dois transmissores específicos.

Lim e Zhang (2006) propõem um método de posicionamento idêntico mas, em vez de transmissores infravermelhos, utilizam *tags* de Identificação por Rádio Frequência (RFID) distribuídas por uma área, permitindo ao leitor de RFID, transportado pelo utilizador, obter, em cada instante, mais do que uma leitura e estimar a sua localização física. Das experiências efectuadas, os autores concluíram que esta abordagem consegue ter uma precisão com um erro de estimativa de menos de um metro.

Ghiani, Paternó, Santoro e Spano (2009) implementaram um guia móvel do Museu de Mármore em Carrara, e no Museu de História Natural de Calci, Itália, onde transmissores RFID foram colocados próximos das obras em exibição. O leitor RFID transportado pelos utilizadores permite à aplicação identificar quais dos transmissores estão visíveis e, através da análise do RSSI (Received Signal Strength Indication), calcular qual destes está mais próximo.

Xu, Huang, Xu, Huo e Wang (2009) propõem um procedimento de seguimento em dois passos. No primeiro passo, um algoritmo de correlação de transmissores utiliza a informação

RSSI de todos os transmissores detectados para identificar a área geral onde o utilizador se encontra. No passo seguinte, utilizando apenas a informação RSSI dos transmissores presentes na área identificada, é possível obter uma indicação mais precisa da localização do utilizador.

Ikeda et al. (2008) propõe a utilização de um rede de sensores sem fios utilizando rádio VHF de baixo consumo para fornecer um serviço de posicionamento interior. Este sistema foi implementado na Landmark Plaza em Yokohama, Japão, e utiliza um *smartphone* com um receptor integrado para detectar os sinais dos transmissores e consequentemente a posição do utilizador e a sua trajetória.

O sistema PhoneGuide (Bruns et al., 2007) é um guia de museus que utiliza um emissor Bluetooth, em cada um dos elementos em exposição, que é detectado pelo receptor de cada utilizador. Este tipo de técnica não permite ter uma precisão suficiente para conseguir diferenciar entre objectos individuais localizados dentro do raio de alcance do sinal. No entanto, permite ao sistema conhecer quais os elementos que estão visíveis em cada instante e, com esta informação, utilizar imagens capturadas pela câmara do dispositivo, comparando-as com imagens armazenadas de cada um dos objectos, permitindo assim a identificação de qual o objecto para onde o utilizador está a olhar

Rainer Mautz (2009) pesquisou alguns sistemas de posicionamento interior, capazes de obter precisões ao nível do cm. No seu artigo explora: o sistema iGPS (Krautschneider, 2006) que utiliza um transmissor de laser em infravermelhos, capaz de uma precisão ao mm; o sistema Locata (Barnes, Rizos, Kanli e Pahwa, 2005) que utiliza sinais de rádio transmitidos na banda dos 2.4Ghz (permitindo assim a penetração no interior de edifícios) através de transmissores colocados numa distância, de algumas centenas de metros a alguns km, e com precisão ao cm; e os sistemas Cricket (Priyantha, 2006), Active Bat (Hazas e Hopper, 2006) e Dolphin (Fukuju, Minami, Morikawa e Aoyama, 2003), baseados simultaneamente em ultra-sons e mensagens de rádio frequência, possibilitando aos receptores detectar a diferença entre o tempo de chegada de cada sinal, e conseguindo assim calcular a distância a cada emissor, triangulando a posição final.

Kalkusch et al. (2002) apresentam uma aplicação móvel de realidade aumentada na qual o utilizador tem um capacete com uma câmara montada que detecta e segue marcadores conhecidos, anteriormente espalhados pelo edifício. Este seguimento permite ao sistema a identificação, em cada instante, da posição e orientação do utilizador.

6.2.2 Posicionamento Interior Utilizando as Redes Wi-Fi Existentes

Diversos sistemas exploraram a utilização dos pontos de acesso às redes sem fios.

Bahl e Padmanabhan (2000) desenvolveram o sistema RADAR, que opera através da identificação e processamento da informação da força do sinal de múltiplas estações base, que

estão posicionadas duma forma que possibilite a sobreposição dos sinais e permitindo assim a triangulação da posição do utilizador com uma precisão de alguns metros.

Kitasuka, Nakanishi e Fukuda (2003) propuseram o sistema WiPS. Este sistema é semelhante ao anterior mas, ao invés de utilizar apenas informação sobre os pontos de acesso à rede sem fios, cada terminal WiPS comunica também com os terminais vizinhos, utilizando informação destes para conseguir melhorar a precisão do sistema.

Existem também sistemas comerciais que exploram o uso das redes Wi-Fi para conseguir o posicionamento interior. O sistema Ekahau Real Time Location System (RLTS) (Ekahau, 2010) utiliza as redes existentes para conseguir obter precisões com diferentes níveis de granularidade (por exemplo, divisão, piso, nível), dependendo do número de pontos de acesso que estão disponíveis.

6.2.3 Posicionamento no Interior sem Infra-Estruturas

As limitações impostas pela necessidade de utilização de uma infra-estrutura instalada nos edifícios, nos quais se pretende efectuar o posicionamento, levou a que, apesar de terem, potencialmente, um maior erro, tenham surgido diversos trabalhos sobre posicionamento interior sem recurso a infra-estruturas.

Kourogi et al. (2009) utilizam uma abordagem na qual são colocados sensores na cintura do utilizador, para detectar quando o utilizador está a andar e a sua velocidade. Esta abordagem é então melhorada através da utilização de câmaras de vigilância que estimam os parâmetros do tipo de andamento do utilizador.

Stéphane Beauregard (2007) foca-se no posicionamento interior para os serviços de emergência. Utiliza sensores de inércia colocados nos sapatos para estimar em cada passo dado, qual a distância percorrida pelo utilizador. O posicionamento do sensor nos sapatos em vez de outras partes do corpo permite obter melhores resultados quando na presença de modos de andamento irregulares ou com mudanças de direcção abruptas que podem, tipicamente, estar presentes em operações de salvamento.

Jiménez, Seco, Prieto e Guevara (2010) também utilizam sensores colocados nos sapatos e desenvolveram a *framework* INS-EKF-ZUPT que permite detectar a posição, orientação e inclinação de uma pessoa enquanto está a andar. Utilizam também um algoritmo de detecção de postura e vários métodos para redução do erro causado por imprecisões na orientação.

Do ponto de vista comercial, o sistema de Pedómetro da Nike + iPod (Nike, 2015) utiliza também sensores colocados nos sapatos do utilizador permitindo que este ouça informação útil através do seu iPod enquanto está a fazer exercício.

Glanzer, Bernoulli, Wiessflecker e Walder (2009) propõem um sistema de navegação pedestre inercial que utiliza uma unidade de medição inercial, baseada num sistema micro-electro-mecânico (MEMS) de baixo custo, constituído por um acelerómetro, um giroscópio e um magnetómetro, todos de três eixos, e um termómetro, um conversor A/D e um microcontrolador. Dos dados obtidos destes sensores, é possível calcular o integral dos valores da aceleração obtidos obtendo as alterações na posição e orientação, e calcular a posição final do utilizador.

Köhler, Patel, Summet, Stuntebeck e Abowd (2007) desenvolveram um protótipo para posicionamento no interior de pequenas divisões que utiliza uma bússola, câmara e um projector. O sistema projecta um padrão de uma grelha no ambiente para tentar detectar e determinar a localização dos diferentes planos (correspondendo às paredes) e das suas intersecções (correspondendo aos cantos). Se o sistema conseguir detectar três planos ortogonais, por exemplo duas paredes e o tecto, consegue encontrar a sua posição e orientação relativas a esse canto em particular. Através da utilização de uma bússola, é possível saber de que canto específico se trata e, consequentemente, a posição relativa do utilizador no interior da divisão.

Randell, Djallil e Muller (2003) compararam diferentes técnicas de estimação da navegação pedestre e a utilização de diferentes sensores que pode ser utilizada para melhorar as precisões. Exploraram quatro casos de estudo diferentes e conseguiram obter precisões da mesma ordem de magnitude que os receptores GPS.

Ladstätter, Luley, Almer e Paletta (2010) utilizaram um sensor inercial colocado no bolso do utilizador para detectar alterações na aceleração e ajustar dinamicamente os limiares de detecção. Determinaram que a precisão deste tipo de técnicas é fiável para velocidades maiores que 1 m/s, mas que contém demasiados falsos positivos quando utilizado a velocidades inferiores.

Alguns trabalhos começaram também a ser feitos com o foco nos sensores já presentes nos dispositivos móveis. Serra, Carboni e Marotto (2010) apresentam os desenvolvimentos iniciais de um sistema de navegação interior que utiliza o acelerómetro, bússola, câmara e ligação de dados integrados no dispositivo. Apesar de utilizar apenas os sensores do dispositivo, a aplicação proposta utiliza códigos de barras em matriz bidimensional, desenhados em mapas espalhados pelos edifícios para permitir ao sistema obter a posição inicial e a planta do local.

Algumas experiências foram também feitas para avaliar a precisão deste tipo de técnicas. Dekel e Schiller (2010) apresentam um conjunto de testes que exploram a navegação interior com *smartphones*. Nos testes efectuados conseguiram obter precisões de mais de 90% na detecção da distância percorrida.

6.3 Algoritmo de Posicionamento Interior

Apesar de fornecerem soluções para os problemas existentes no posicionamento no interior de edifícios, a maioria dos trabalhos apresentados na secção anterior são baseados na existência de uma infra-estrutura física em cada edifício ou necessitam de sensores externos que são colocados, por exemplo, na cintura ou sapatos dos utilizadores. Estes sensores e infra-estruturas físicas são, respectivamente, uma potencial limitação ao movimento natural dos utilizadores e à viabilidade dos sistemas. Adicionalmente, alguns dos trabalhos apresentados requerem equipamentos muito dispendiosos e outros, apesar de utilizarem equipamento relativamente barato, necessitam da instalação de um grande número de emissores para conseguirem uma boa precisão.

Uma vez que a finalidade do protótipo apresentado neste capítulo é o desenvolvimento de uma aplicação de VA mista (no interior e exterior dos edifícios), existe o objectivo de desenvolver uma abordagem que não necessite de sensores externos, para além daqueles que já estão integrados no dispositivo móvel, e que possa ser utilizada em edifícios nos quais não existe uma infra-estrutura física instalada.

Adicionalmente, uma vez que o utilizador segura o dispositivo móvel na sua mão, pretende-se uma técnica que não limite em demasia os movimentos do utilizador, permitindo manter alguma da liberdade de movimentos que é habitual ao utilizar um dispositivo móvel.

Nas próximas subsecções irá ser descrita a abordagem proposta que consiste na detecção dos passos e na identificação da posição do utilizar num grafo da planta do edifício.

6.3.1 Algoritmo de Detecção de Passos

Para capturar, em tempo real, as acelerações a que o dispositivo móvel está sujeito, é utilizado um acelerómetro de 3 eixos integrado no dispositivo móvel.

Quando numa postura de pé, em repouso, a única aceleração sentida no dispositivo móvel é a da gravidade. Se se considerar que o dispositivo móvel está perpendicular ao plano do chão, os eixos do X e Z não estariam a medir nenhuma aceleração, e o eixo vertical Y mediria a gravidade, com um valor de aproximadamente $9,8 \text{ m.s}^{-2}$. Uma vez que os utilizadores podem inclinar e rodar livremente o dispositivo, não existe, à partida, conhecimento de qual o eixo do acelerómetro que está, em cada instante, a medir a aceleração vertical. Por esta razão, apesar de potenciar a adição de algum ruído, escolheu analisar-se a norma resultante do vector aceleração nos três eixos, em vez de os analisar separadamente.

Quando em andamento o utilizador irá, não só, aplicar uma aceleração em frente, no sentido do movimento, mas também, e com uma maior magnitude, aplicar alternativamente uma aceleração vertical positiva, seguida de uma negativa. A Figura 6.1 mostra um exemplo das alterações da norma da aceleração ao longo de três passos.

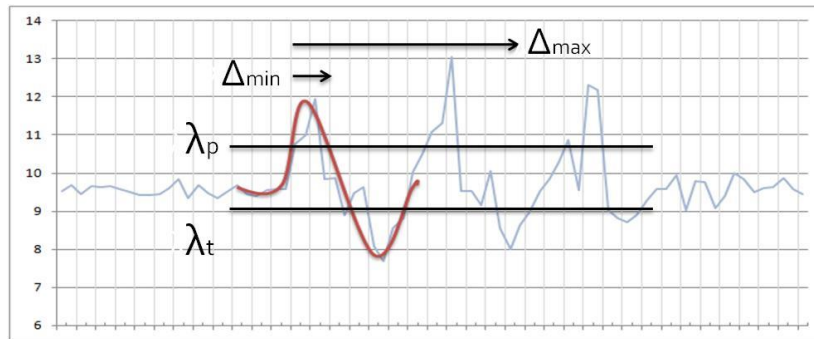


Figura 6.1: Alterações na norma do vector aceleração ao andar, representadas com linha azul fina (a linha vermelha espessa mostra o padrão de um passo individual)

Para detectar um passo foram definidos quatro parâmetros que os caracterizam:

- Uma amplitude λ_p que representa a alteração positiva mínima da aceleração.
- Uma amplitude λ_t que representa a alteração negativa máxima da aceleração.
- Um intervalo de tempo mínimo Δt_{\min} que tem de passar antes de completar o padrão.
- Um intervalo de tempo máximo Δt_{\max} que não pode ser excedido para que o padrão do passo possa ser detectado.

Todos estes parâmetros podem ser alterados na aplicação em tempo real. A descrição do algoritmo de detecção de passos é a seguinte:

```

1: calcular norma da aceleração: a
2: se (a > λp)
    iniciar temporizador t
    iniciar detecção do padrão
3: enquanto (t < Δtmin)
    se (padrão detectado)
        descartar passo
        parar detecção do padrão
4: enquanto (t > Δtmin E t < Δtmax)
    se (padrão detectado E a < λt)
        passo detectado
5: se (t > Δtmax)
    descartar passo
  
```

O algoritmo de detecção de passos funciona através da verificação, em tempo real, se a actual aceleração é superior a λ_p . Quando tal acontece, a aplicação começa a analisar se o padrão de um passo ocorre antes de Δt_{\min} . Neste caso é assumido que foi causado por outro movimento e o passo é descartado. Se o padrão ocorre em mais tempo que Δt_{\min} mas menos que Δt_{\max} , e se atinge λ_c criando um padrão similar ao que foi apresentado anteriormente, é gravado um passo bem como a sua orientação, obtida através da bússola do dispositivo. Se após Δt_{\max} ainda não tiver sido detectado o padrão do passo, o passo é descartado.

Para que seja possível a identificação da localização do utilizador no interior do edifício, é utilizada a última latitude e longitude obtidas através do GPS como o ponto inicial do algoritmo. De seguida, à medida que cada passo vai sendo detectado, é utilizada a orientação dada pela bússola e um valor médio de tamanho de passo para calcular a deslocação feita. Através da adição de todos os movimentos feitos é possível calcular a trajectória seguida pelo utilizador no interior do edifício e calcular a sua localização actual.

6.3.2 Grafo da Planta e Correção da Posição

Apesar do algoritmo descrito na secção anterior poder fornecer um posicionamento com alguma precisão quando utilizado por curtos períodos de tempo, à medida que vai sendo utilizado, vai acumulando, potencialmente, uma quantidade significativa de erro. Para minimizar os erros causados por passos que não são detectados (falsos negativos), passos incorrectamente detectados (falsos positivos), ou erros no tamanho do passo, é feita a correcção na posição do utilizador através da informação sobre a planta do edifício.

Escolheu-se representar a planta do edifício através do uso de grafos, inspirado nos trabalhos feitos por Stoffel, Schoder e Ohlbach (2008) e Yuan e Scheider (2010), nos quais a geometria da planta dos edifícios é utilizada para definir um grafo com os possíveis caminhos que um utilizador pode tomar.

Optou-se por dividir a planta do edifício em áreas rectangulares de diferentes tamanhos, em que as áreas onde ocorrem transições (por exemplo, portas) têm o tamanho mais pequeno, e áreas em que não existem transições (por exemplo, corredores longos sem portas) têm uma área maior. Cada uma destas áreas corresponde a um nó do grafo.

A Figura 6.2 mostra, na esquerda, uma planta original com as áreas consideradas a vermelho e, no lado direito, o grafo que foi definido, com um nó por área.

A utilização do grafo permite calcular, com cada passo dado, a posição do utilizador no interior de um dado nó. Se, em dado momento, uma nova posição calculada estiver fora do actual nó, o sistema irá verificar se existe uma transição válida do actual nó para o novo nó, na direcção especificada. Caso exista uma transição válida, o sistema coloca o utilizador no novo nó e calcula

a sua localização neste. Se não existir uma transição válida na orientação obtida (i.e. não existe um caminho directo entre os dois nós), o sistema irá procurar qual a posição mais próxima na qual o movimento calculado seria válido e corrigir a posição do utilizador (Figura 6.3).

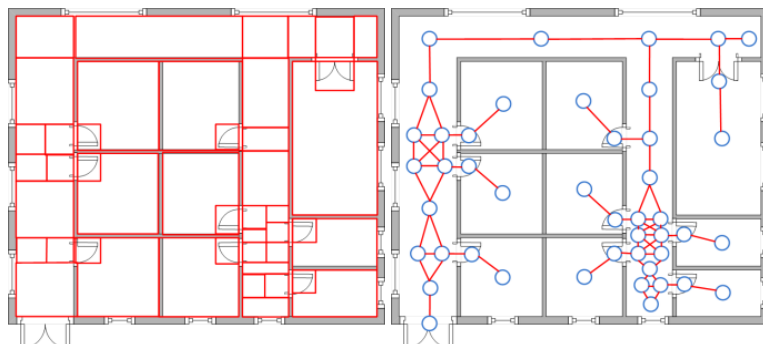


Figura 6.2: Definição do grafo de uma planta de um edifício

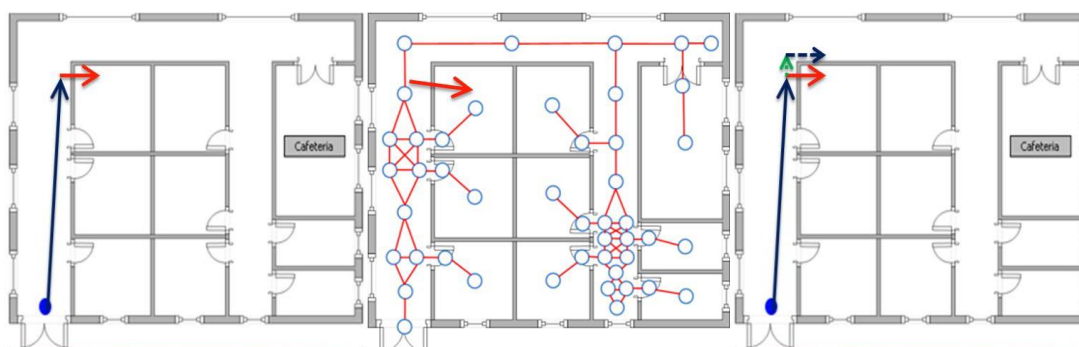


Figura 6.3: Correção da posição após transição inválida

6.4 Implementação de um Protótipo de VA com Posicionamento Interior

O objectivo neste protótipo era o desenvolvimento de uma aplicação para visualização de pontos de interesse que permita ao utilizador circular num edifício que desconhece (por exemplo, um centro comercial ou o campus de uma universidade) e obter rapidamente informação útil. A aplicação deverá auxiliar o utilizador a encontrar locais específicos e também permitir uma fácil exploração do edifício enquanto obtém informação sobre o ponto de interesse mais próximo.

Para testar e avaliar a abordagem proposta, desenvolveu-se um protótipo para um smartphone HTC, com sistema operativo Windows Mobile 6.1 e com acelerómetro e bússola integrados.

A implementação deste protótipo, baseado no modelo da Chameleon, usa uma interface com um mapa 2D do edifício. Nesta interface é adaptada a visualização da planta, apresentando a localização e trajectória do utilizador, bem como a informação existente sobre os pontos de interesse na proximidade do utilizador (Figura 6.4).

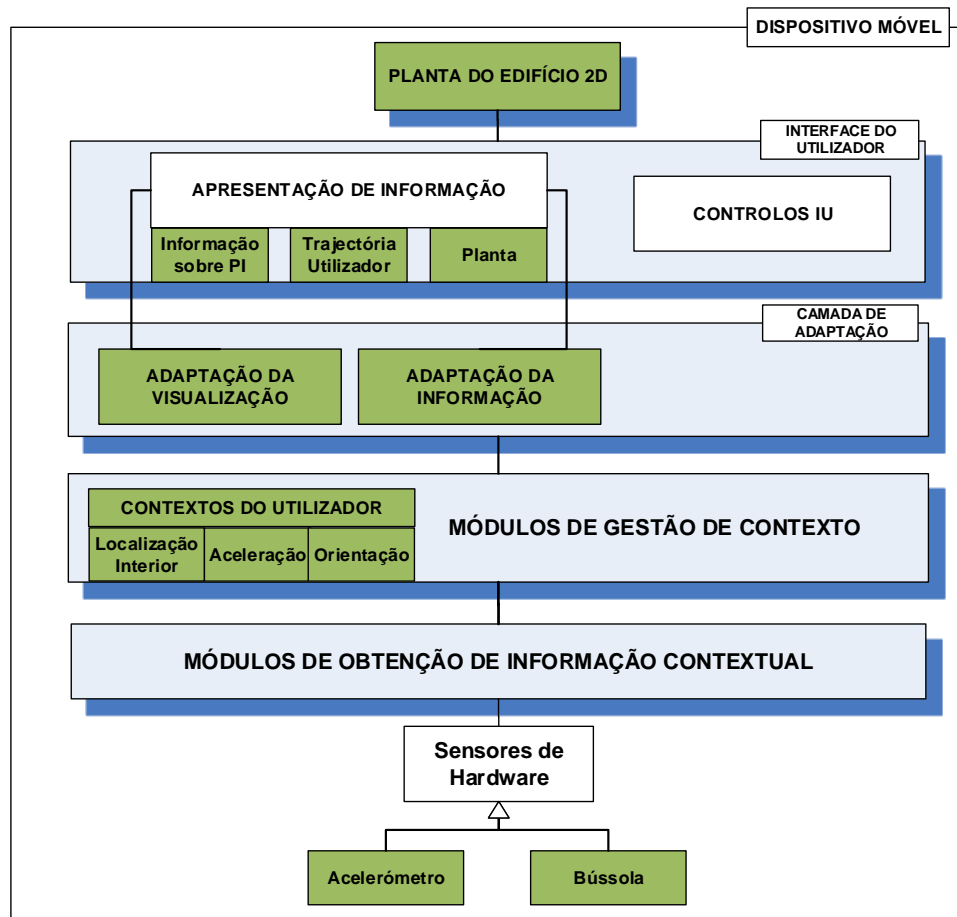


Figura 6.4: Arquitectura do protótipo

Na Figura 6.5 é apresentada a matriz de adaptação do protótipo. Neste é feita uma adaptação à Informação sobre os diferentes pontos de interesse utilizando o contexto localização interior, do Utilizador. É também adaptada a Visualização do mapa do edifício e o percurso do utilizador, utilizando os contextos aceleração, orientação e localização, do Utilizador.

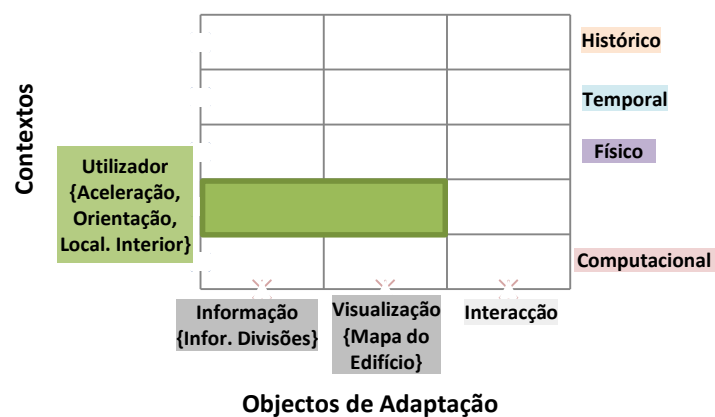


Figura 6.5. Matriz da adaptação do protótipo inicial

O contexto de localização interior é calculado através da agregação da informação contextual atómica, de orientação e aceleração do dispositivo.

Para obter a informação sobre os pontos de interesse, é utilizada uma base de dados num servidor SQL local, que contém informação acerca do nome, localização e atributos de cada ponto de interesse. Para ilustrar o conceito proposto, foi definida uma planta de um local interior, composta por apenas nove pontos de interesse.

O protótipo desenvolvido tem dois modos de interacção principais. No primeiro modo, desenvolvido para auxiliar uma tarefa de pesquisa, se o utilizador decidir pesquisar um ponto de interesse específico, poderá seleccionar o botão “Select PoI” através do menu “Options” e então procurar o ponto que lhe interessa (por exemplo, uma loja específica). Quando o utilizador selecciona um ponto de interesse, este será realçado na planta do edifício. Adicionalmente, a informação disponível sobre o ponto de interesse será apresentada na parte superior da interface (Figura 6.6).



Figura 6.6: Destino escolhido

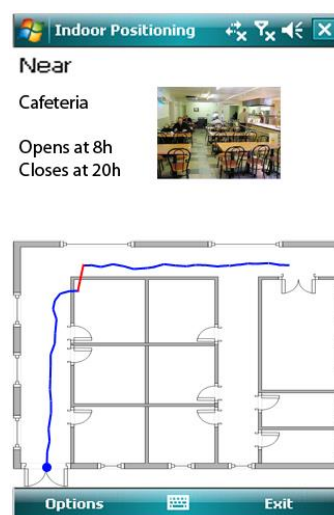


Figura 6.7: Caminho seguido pelo utilizador

O segundo modo foi desenvolvido para suportar tarefas exploratórias. Caso o utilizador não seleccione nenhum ponto de interesse, a aplicação detecta quais as áreas próximas do utilizador e apresenta informação acerca destas na parte superior da interface (Figura 6.7).

No protótipo, a principal área de visualização, na parte inferior da interface, mostra o caminho que o utilizador percorreu sobreposto à planta do edifício e a sua localização actual marcada com um círculo azul (Figura 6.6). Um exemplo da detecção do caminho percorrido é apresentado na Figura 6.7. O caminho percorrido é apresentado a azul sobreposto à planta. Se a posição do utilizador for automaticamente corrigida pelo sistema, devido à detecção de transições inválidas, a interface apresenta um traço grosso vermelho a realçar a correcção feita.

6.5 Avaliação com Utilizadores

Para conseguir calcular com precisão a posição do utilizador no interior do edifício, é essencial que se usem parâmetros de detecção de passos adequados, e que estes considerem também um valor correcto para o tamanho de cada passo. Para obter estes valores, foram realizadas um conjunto de experiências que permitem perceber as diferenças entre os diferentes modos de andar e o tamanho da passada de cada utilizador.

6.5.1 Procedimento

No início da experiência, perguntou-se a cada participante o seu nome, peso e altura. Sete participantes executaram a experiência, quatro homens e três mulheres. Tinham alturas entre 160 cm e 180 cm e pesos entre 65 kg e 81 kg.

De seguida, foi pedido a cada participante que segurasse o dispositivo na mão e seguisse as instruções apresentadas no ecrã do dispositivo. Para cada experiência foram dadas indicações aos participantes sobre a velocidade a que deveriam andar e pedido para pressionarem um botão “Start”, andar dez passos e carregar no botão “Stop”.

Foi pedido aos participantes que permanecessem no local onde tinham parado, para permitir que fosse medida a distância percorrida.

Cada participante executou um conjunto de seis tarefas, três no exterior e as restantes no interior de um centro comercial.

Inicialmente os participantes andaram na sua velocidade normal, no exterior, de seguida foi-lhes pedido para andarem calmamente, enquanto observavam o ambiente envolvente e finalmente, para andarem como se estivessem com pressa. Estas tarefas foram então repetidas no interior do centro comercial, onde andaram a uma velocidade normal, devagar enquanto observavam as montras das lojas e rapidamente como se atrasados para chegar a determinado local.

Por último, foram também feitas algumas experiências com o dispositivo seguro na cintura dos participantes para que fosse possível obter um conjunto de dados de controlo com o dispositivo numa posição mais estável.

6.5.2 Resultados

Após terem sido concluídos os testes, foi possível criar os gráficos da variação da norma do vector aceleração, para cada uma das tarefas de cada participante, processando os registos armazenados no dispositivo com os valores obtidos através do acelerómetro

Utilizando estes gráficos foi possível analisar o padrão de movimento de cada um dos utilizadores e determinar, para cada passo dado, quais os parâmetros de detecção mais eficazes.

Relativamente aos parâmetros λ_p e λ_t , pretendia-se perceber se o valor mínimo de λ_p e o valor máximo de λ_t eram suficientemente díspares para que pudessem ser utilizados como valores por omissão para todos os passos. No entanto, como se pode ver na Figura 6.8, os valores obtidos foram bastantes semelhantes e, como consequência, não são adequados para uso no algoritmo.

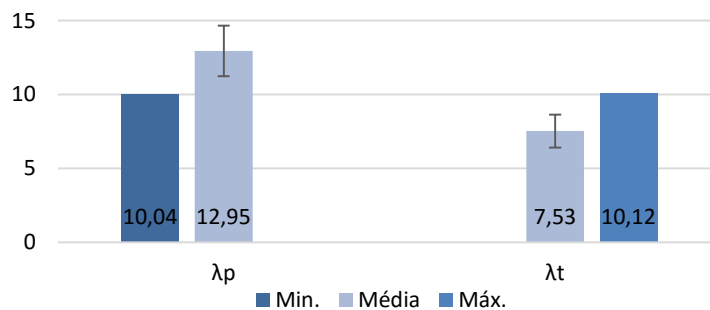


Figura 6.8: Parâmetros de aceleração λ_p e λ_t (em m/s^2)

Como alternativa, para obter um conjunto de valores que possa detectar a maioria dos passos, pode-se utilizar a média e o desvio padrão de cada parâmetro. Como resultado, o valor de λ_p pode ser calculado através da utilização da média (12.95) e subtraindo o desvio padrão (1.71). De forma semelhante, o valor de λ_t pode ser obtido através da adição do desvio padrão (1.11) à média (7.53).

Relativamente ao intervalo de tempo de cada passo (Figura 6.9), o tempo médio gasto por passo (245 ms) e o desvio padrão relativamente alto (99 ms) sugere que uma abordagem similar poderá ser utilizada para definir o Δ_{tmin} como a subtracção do desvio padrão da média e o Δ_{tmax} como a soma.

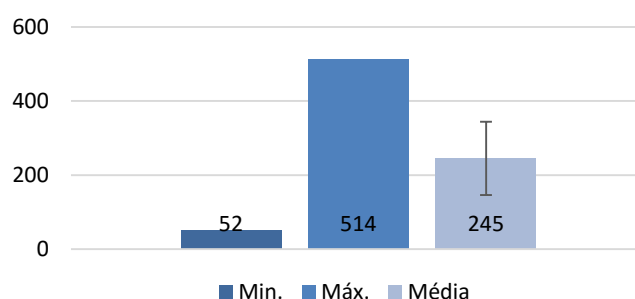


Figura 6.9: Tempo (Δt) gasto a dar um passo (em ms)

Os valores obtidos permitem detectar a maioria dos passos dados pelos utilizadores. No entanto, como pode ser visto pelo desvio padrão dos gráficos anteriores, existem diferenças significativas no modo como cada pessoa anda. Por esta razão, em vez de utilizar um parâmetro de valor fixo, seria preferível que a aplicação adquirisse informação quando o utilizador se

encontra no exterior (onde o movimento pode ser detectado também pelo GPS) para calibrar automaticamente os parâmetros.

Uma vez que os utilizadores não se movem exactamente da mesma maneira quando estão no interior de um edifício, como quando estão no exterior, é necessário identificar a relação entre os dois tipos de movimento. Para tal, foi calculado o rácio, para cada participante, entre as experiências, no interior e no exterior, feitas com a mesma velocidade. Estes rácios são apresentados na Figura 6.10.

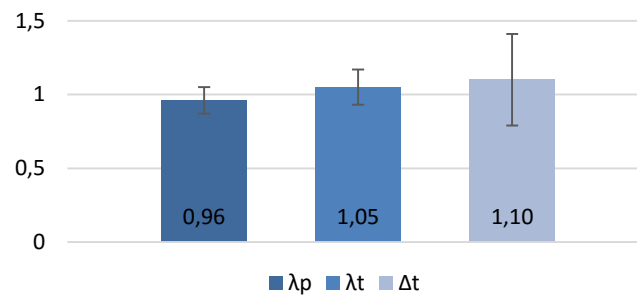


Figura 6.10: Razão λ_p , λ_t e Δt interior / exterior

Tão importante como detectar cada passo correctamente é a escolha de um tamanho de passo certo, uma vez que, a longo prazo, o erro adicionado é cada vez maior. A passada média obtida através das experiências foi de 65 cm. No entanto, existem variações significativas dependendo da velocidade do movimento e também se os utilizadores estão no interior ou no exterior (Figura 6.11).

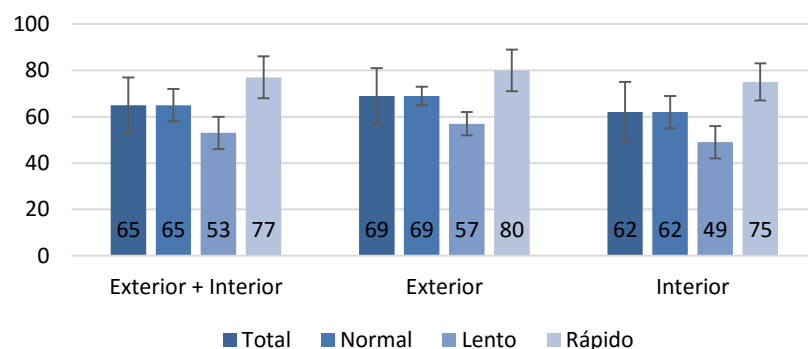


Figura 6.11: Tamanho médio de um Passo (em cm)

Apesar dos diversos tamanhos de cada passo, quando se considera a relação entre cada par de experiências interior / exterior, é obtida uma razão que é razoavelmente constante (0.9) e que cresce com o aumento da velocidade do participante (Figura 6.12).

Pretendia-se também encontrar a relação entre o peso, altura e o tamanho do passo do utilizador. Para obter esta razão, foi calculado $(\text{Altura} / \text{Peso}) / (\text{Tamanho do Passo})$. A razão

média calculada foi de 0.039, que decresce com o aumento da velocidade do participante (Figura 6.13).

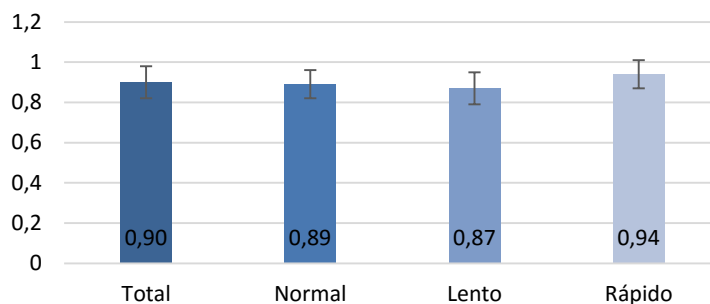


Figura 6.12: Proporção do tamanho do passo no interior / exterior

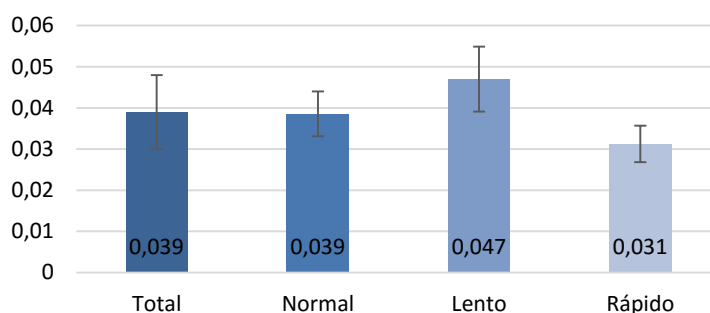


Figura 6.13: Razão entre a altura, peso e tamanho do passo

Através do uso das anteriores razões e da informação obtida através do GPS, quando o utilizador se encontra no exterior, é possível calcular com um menor erro o tamanho médio da passada de um determinado utilizador.

6.5.3 Validação

Para perceber se a abordagem proposta era válida, foi conduzida, posteriormente, uma pequena fase de avaliação. Esta fase tinha o objectivo de determinar a precisão do algoritmo de detecção de passos.

Utilizando informação das experiências realizadas anteriormente foi possível calcular, para cada participante, os padrões de detecção de passos ideais. Após ter calibrado a aplicação, foi pedido aos participantes que andassem 50 passos segurando o dispositivo na mão e, ao pararem, verificar quantos passos tinham sido capturados pela aplicação. Cada participante repetiu esta avaliação um total de três vezes.

Em media, o algoritmo detectou 47 passos em 50 (desvio padrão 2.5), apesar do número de passos detectado poder ser, a longo prazo, responsável por um erro significativo.

6.5.4 Discussão do Erros na Precisão do Algoritmo

Apesar do algoritmo descrito fornecer um posicionamento aceitável, quando utilizado por curtos períodos de tempo, pode, a longo prazo, provocar um aumento no erro acumulado.

Existem quatro tipos de erro presentes neste tipo de algoritmo. Passos que não são detectados (falsos negativos); passos incorrectamente detectados (falsos positivos); erros no tamanho do passo; e erros na precisão da orientação obtida através da bússola.

De todos estes tipos de erros, apenas os erros causados pela orientação obtida através da bússola são independentes do utilizador, sendo causados ou por uma baixa precisão da bússola ou por perturbações no campo magnético provocadas pela proximidade de metal ou interferência de outros dispositivos na proximidade. Os restantes três tipos de erro são maioritariamente causados pelo uso de parâmetros que não são adequados ao modo como um determinado utilizador se está a deslocar naquele preciso momento.

Por esta razão, se estes parâmetros forem automaticamente adaptados para cada utilizador e o seu actual tipo de movimento, estes erros poderão ser minimizados permitindo ao algoritmo obter uma muito melhor precisão.

6.6 Algoritmo de Posicionamento Interior Adaptado

Para que seja possível melhorar o posicionamento de um utilizador no interior de um edifício, é utilizada informação obtida quando o utilizador se encontra no exterior, onde é possível utilizar simultaneamente o GPS, para verificar a precisão dos parâmetros de detecção de passos. No entanto, como foi referido anteriormente, o tipo de movimento que uma pessoa faz no exterior é diferente do movimento efectuado após ter entrado num edifício.

6.6.1 Ajustamento dos Parâmetros de Detecção de Passos no Interior

Para que seja possível adaptar os parâmetros de posicionamento no interior, é primeiro necessário obter os parâmetros ideais, para o exterior. Para o conseguir, utiliza-se o GPS para obter informação sobre o posicionamento do utilizador e para calcular, em determinados intervalos, o deslocamento efectuado e a respectiva velocidade, armazenando simultaneamente um registo das acelerações sentidas pelo acelerómetro integrado no dispositivo.

Utilizando esta informação é possível ajustar automaticamente os parâmetros de detecção para que estes sejam coerentes com o tipo de movimento que o utilizador está a fazer. Adicionalmente, utilizando a informação sobre a distância percorrida e o número de passos dado, é possível também calcular qual o tamanho médio da passada do utilizador, enquanto no exterior.

Após terem sido obtidos os parâmetros ideais para o exterior, é possível adaptar estes valores para um ambiente interior, utilizando as proporções interior/exterior que foram descritas anteriormente. Desta forma, é possível melhorar, de forma automática e transparente para o utilizador, a precisão do sistema.

6.7 Implementação de um Protótipo de VA com Posicionamento Interior Adaptado

Para a implementação da versão melhorada do algoritmo de posicionamento, devido ao aumento da popularidade dos sistemas Android, e como forma de verificar a portabilidade da organização da Chameleon em diferentes sistemas operativos, escolheu desenvolver-se um protótipo utilizando um dispositivo Samsung Galaxy S, com o sistema Android 2.3.1.

Na Figura 6.14 é apresentada a arquitectura do protótipo desenvolvido.

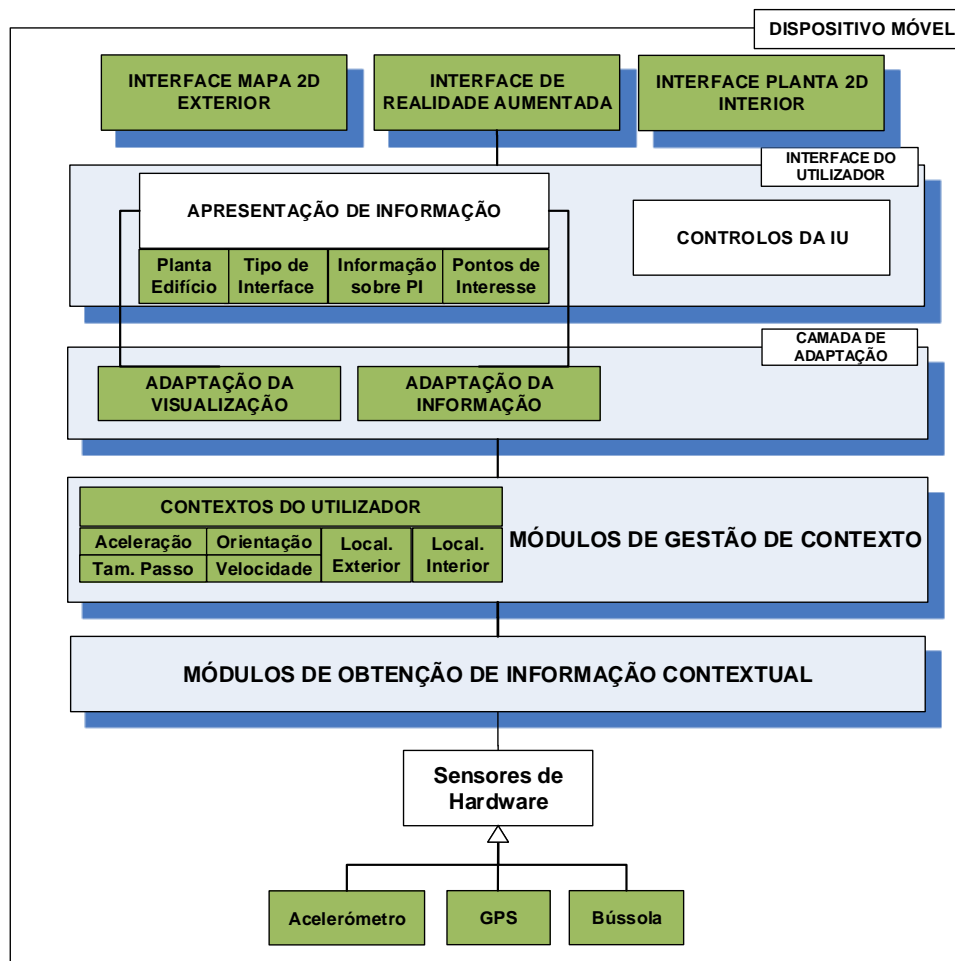


Figura 6.14: Arquitectura do protótipo

Neste protótipo são utilizadas, simultaneamente, três interfaces distintas: uma interface 2D com um mapa e uma vista de realidade aumentada, ambas para uso no exterior, e uma interface com uma planta de um edifício em 2D, para uso quando o utilizador se encontra no interior.

Na Figura 6.15 é apresentada a matriz de adaptação deste segundo protótipo. Neste é feita uma adaptação a objectos de Informação, nomeadamente os pontos de interesse apresentados e respectiva informação, utilizando o contexto de localização (interior e exterior) e orientação. Os objectos de Visualização, mapa do edifício e percurso do utilizador, são também adaptados utilizando os mesmos contextos.

O contexto de localização interior é agregado utilizando informação de um conjunto alargado de contextos, nomeadamente a aceleração, orientação, velocidade e tamanho do passo, inferido através do movimento efectuado, pelo utilizador, no exterior.

Por último, o tipo de interface utilizado na Visualização é também adaptado de acordo com a orientação do dispositivo e se o utilizador está no interior ou exterior de um edifício.

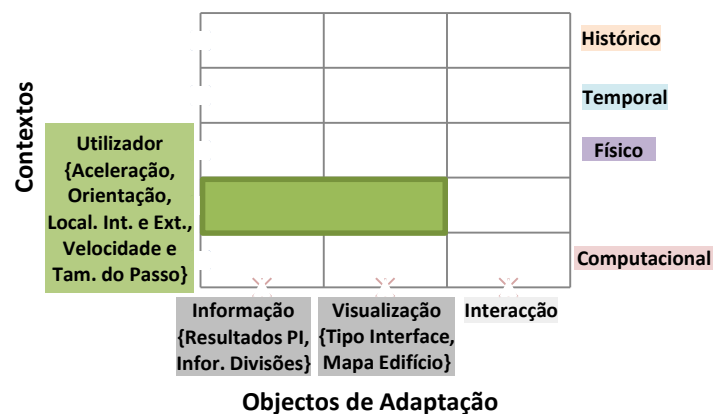


Figura 6.15. Matriz de adaptação do segundo protótipo

6.7.1 Interface no Exterior

Através da utilização do acelerómetro do dispositivo, é possível detectar a inclinação com que o utilizador está a segurar o dispositivo, através da medição do ângulo do dispositivo em relação aos três eixos principais do acelerómetro. Utilizando esta informação contextual é possível adaptar o tipo de interface apresentado, de modo a facilitar a utilização do sistema em diferentes ambientes e modos de utilização. Assim, se o utilizador se encontrar no exterior, existem dois tipos de interface que podem ser apresentados de forma automática.

Caso o utilizador esteja a segurar o dispositivo à sua frente, com ângulo perpendicular ao chão, é utilizada uma vista de realidade aumentada que apresenta os pontos de interesse, na proximidade, como círculos desenhados sobre uma imagem capturada, em tempo real, através da câmara do dispositivo (Figura 6.16). Na parte inferior esquerda do ecrã, é apresentado um radar que mostra ao utilizador outros pontos de interesse que existam à sua volta, bem como o ângulo que está actualmente a visualizar.



Figura 6.16. Vista de realidade aumentada no exterior

Quando o utilizador baixa o dispositivo, ficando este paralelo ao chão, a interface é automaticamente alterada para uma vista de um mapa, na qual os pontos de interesse estão apresentados como ícones desenhados sobre o mapa (Figura 6.17).

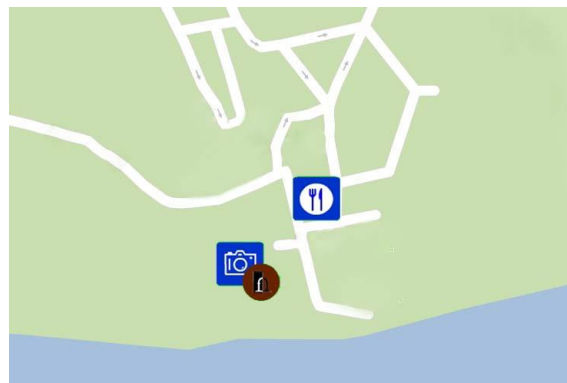


Figura 6.17. Vista de mapa no exterior

6.7.2 Interface no Interior

Quando o utilizador entra numa edifício, a aplicação altera automaticamente a interface para uma vista 2D da planta do edifício, mostrando os pontos de interesse que existem no seu interior, apresentados como ícones sobrepostos na planta (Figura 6.18). A trajectória percorrida pelo utilizador é também, opcionalmente, desenhada sobre a planta do edifício, como uma linha verde.

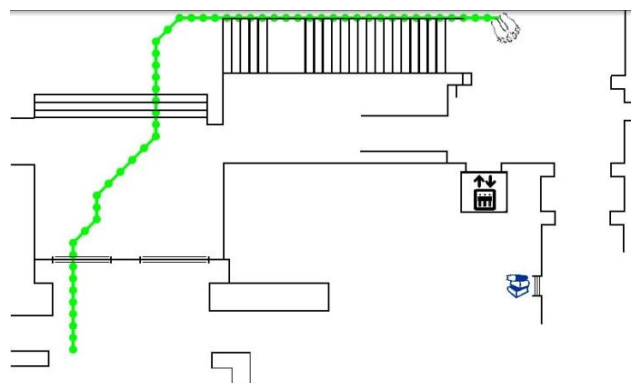


Figura 6.18. Vista no interior da planta do edifício

6.8 Sumário e Discussão

Neste capítulo foi apresentado um protótipo de uma aplicação de visualização de pontos de interesse que utiliza informação acerca da posição do utilizador no interior de um edifício para apresentar informação sobre os pontos de interesse que se encontram na proximidade do utilizador. Para que seja possível identificar correctamente a posição do utilizador foi proposto um algoritmo de posicionamento no interior que não necessita de infra-estruturas físicas previamente instaladas. Adicionalmente, esta abordagem não necessita de sensores externos, evitando a restrição aos movimentos naturais do utilizador ao andar.

Conduziu-se um conjunto de experiências com utilizadores que permitiu obter dados importantes acerca das diferenças nos padrões dos passos originados com vários utilizadores, em diversas situações. Esta informação forneceu uma compreensão de quais os melhores valores por omissão a utilizar nos parâmetros de detecção de passos, bem como auxiliar à implementação de uma forma de os calibrar automaticamente.

Um parâmetro particularmente importante, que pode ser responsável com um grande erro acumulado, e que deve ser ajustado automaticamente, é o tamanho dos passos, uma vez que este varia, não só entre diferentes utilizadores, mas também em função da velocidade e modo como o utilizador está a andar.

Para melhorar o algoritmo, foi proposta uma optimização que utiliza a informação do GPS, quando o utilizador se encontra no exterior, para ajudar a calibrar os valores de detecção de passos, para uso no interior. O segundo protótipo desenvolvido adapta também automaticamente a interface, dependendo do ambiente e modo como o utilizador segura o dispositivo.

Apesar de ainda existir trabalho a desenvolver para que seja possível utilizar este tipo de técnicas de modo a que tenham precisão adequada quando utilizadas com um grupo diverso de utilizadores, e em ambiente complexos, os testes realizados fornecem uma indicação de que se tratam de abordagens válidas.

É importante, no futuro, avaliar de forma mais rigorosa a precisão do algoritmo, tendo em conta a correcção da posição, utilizando o grafo da planta do edifício, e também testar edifícios com plantas mais complexas e, consequentemente, a detecção de passos a subir e a descer escadas, bem como o uso de escadas rolantes e elevadores.

Relativamente ao desenvolvimento da Chameleon, a sua utilização no desenvolvimento dos dois protótipos foi essencial para a verificação da utilização com um conjunto mais alargado de contextos, bem como a utilização e cálculo de contextos mais complexos, obtidos através da agregação de contextos de mais baixo nível.

O facto de dois protótipos relacionados terem sido desenvolvidos em sistemas diferentes permitiu também verificar a facilidade de portabilidade dos sistemas baseados no modelo da Chameleon.

Capítulo 7

Adaptação da Visualização ao Contexto Histórico

Neste capítulo será apresentado um protótipo de um sistema de VA para dispositivos móveis que utiliza o modelo proposto pela Chameleon e serve como demonstração da capacidade de integrar um conjunto diversificado de contextos de uso. O protótipo desenvolvido pretende ainda contribuir para o campo da visualização e dos sistemas de recomendação.

Assim, neste capítulo é apresentada uma função adaptativa de grau de interesse que utiliza informação contextual histórica, combinada com os contextos de localização e temporais, para adaptar automaticamente a apresentação dos resultados em função das pesquisas e preferências anteriores do utilizador, de acordo com o local e momento em que foram feitas. Esta função tem também em conta as distâncias temporais entre o utilizador e os pontos de interesse (Pombinho, Carmo, e Afonso, 2012b; Pombinho, Afonso, Carmo, 2013).

A próxima secção descreve a motivação para o desenvolvimento deste protótipo e o trabalho relacionado. De seguida, na secção 7.2, é apresentada a função de grau de interesse que serviu de base a este trabalho e, na secção 7.3, o modo como esta função pode ser adaptada com os contextos históricos, de localização, e temporais, e com a adição das distâncias temporais.

Na secção 7.4 é descrito o protótipo desenvolvido baseado no modelo da Chameleon.

Nas secções 7.5 e 7.6 são descritas as duas fases de avaliação da nova função de grau de interesse e, na secção 7.7 são apresentadas as conclusões sobre este protótipo.

7.1 Motivação

Como foi já referido anteriormente, a utilização de mecanismos que permitam filtrar a informação apresentada aos utilizadores para que a visualização não se torne confusa, é fulcral nos sistemas de visualização para dispositivos móveis, em que o espaço de ecrã é limitado.

No entanto, para que estes métodos de filtragem sejam eficazes é necessário que estejam associados a um cálculo correcto da relevância da informação. A fiabilidade deste cálculo é fundamental para que seja possível filtrar apenas o que não interessa ao utilizador, ao mesmo tempo que é dada relevância aquilo que for mais importante para o utilizador.

O estudo de formas de calcular correctamente o interesse do utilizador é um tópico de investigação que não é recente, existindo diversos trabalhos relevantes.

Apesar de não estar directamente relacionado com os dispositivos móveis, Furnas (1986) explora a apresentação de grandes estruturas em janelas de reduzido tamanho e utiliza uma vista de olho de peixe para lidar com este problema. Para formalizar o seu conceito de vista de olho de peixe, introduz o conceito de função de grau de interesse. Esta função descreve o interesse que o utilizador tem num determinado objecto. Esta função é definida como a combinação de dois componentes: uma importância *a priori* que representa o interesse global num objecto, e uma importância *a posteriori* que depende daquilo em que o utilizador se está a focar num dado momento, expressa por uma função de distância.

No sistema VisDB (Keim, D. A., e Kriegel, H. –P., 1994), consideram-se não apenas os objectos que satisfazem uma interrogação, mas também aqueles que apenas a satisfazem parcialmente. Para determinar a relevância de um determinado objecto, são utilizadas funções de distância para cada atributo especificado pelo utilizador. Uma vez que diferentes atributos podem ter diferentes prioridades, os utilizadores podem especificar diferentes pesos para cada um deles. As distâncias resultantes são então combinadas.

Tendo como base os trabalhos anteriores, Reichenbacher (2004) foca-se na cartografia em dispositivos móveis. Considera não só o objecto e a sua localização, mas também o tempo dos eventos relacionados com o objecto. Para calcular a relevância de cada objecto, Reichenbacher combina três distâncias: uma distância de tópico, uma distância espacial e uma distância temporal.

Recentemente, os sistemas de recomendação, nomeadamente aqueles que são baseados em filtragem colaborativa, têm suscitado o interesse da comunidade de investigação, sendo utilizados em diversas lojas *online* de grandes dimensões (Jannach, Karakaya e Gedikli, 2012). Estes sistemas dependem das avaliações feitas pelos utilizadores, para os produtos que compram, e podem ser divididos em dois tipos de sistemas: sistemas de avaliação única, que calculam uma avaliação geral para cada produto para cada utilizador, e sistemas com múltiplos critérios, que avaliam, não só, uma relevância geral, mas também critérios / atributos adicionais (Adomavicius e Kwon, 2007).

Lakiotaki, Matsatsinis e Tsoukiàs (2011) propõem uma framework com o objectivo de melhorar a precisão de sistemas de recomendação de múltiplos critérios, através da criação de

grupos de perfis de utilizadores com preferências semelhantes, utilizando informação sobre as suas classificações.

Com a evolução dos dispositivos móveis, os sistemas de recomendação são um tópico de pesquisa com interesse crescente. Os sistemas de recomendação tradicionais não tem em conta o conjunto diverso de dimensões de contexto que são facilmente obtidas utilizando os actuais dispositivos móveis (Adomavicius, Mobasher, Ricci, e Tuzhilin, 2011). A adaptação a estes contextos é uma característica chave para mitigar as limitações à usabilidade de ecrãs de pequena dimensão em conjunto com a enorme quantidade de informação disponível. É assim fundamental que sejam incluídas recomendações que forneçam aos utilizadores uma ajuda para os guiar a escolher entre a informação disponível.

7.2 Função de Grau de Interesse (DoI)

Num trabalho anterior (Pombinho, 2008), foi proposta uma função de grau de interesse que permite ao utilizador quantificar a relevância de cada ponto de interesse. Esta função é baseada na função de grau de interesse de Furnas (1986) e no trabalho de Keim e Kriegel (1994), ambos referidos anteriormente, e será descrita de seguida.

A função de grau de interesse (DoI) proposta é aplicada a pontos de interesse, organizados por categorias, que contêm informação sobre um conjunto de diversos atributos que os caracterizam. Assim, a função de grau de interesse (7.1) quantifica o interesse que o utilizador tem num determinado ponto de interesse p_j , como a média dos interesses do utilizador (UI) nos diferentes k atributos a_i , $i=1,2,...,k$, multiplicados por um peso w_{cat} para cada categoria p_j . Nesta função, tanto a_i como w_{cat} são especificados pelo utilizador.

$$DoI(p_j) = \frac{\sum_{i=1}^k UI(a_i, p_{ji})}{k} \times w_{cat} \in [0,1] \quad (7.1)$$

A função de Interesse do Utilizador $UI(a_i, p_{ji})$ (7.6) depende da distância entre o valor seleccionado pelo utilizador para o atributo a_i e o valor p_{ji} do ponto de interesse p_j no mesmo atributo. As seguintes funções de distância foram definidas:

- Para atributos nominais com l valores alternativos (por exemplo, tipos de restaurantes)

$$Dist(a_i, p_{ji}) = \begin{cases} 0, & \text{if } a_{i1} = p_{ji} \vee a_{i2} = p_{ji} \vee \dots \vee a_{il} = p_{ji} \\ 1, & \text{if } a_{i1} \neq p_{ji} \wedge a_{i2} \neq p_{ji} \wedge \dots \wedge a_{il} \neq p_{ji} \end{cases} \quad (7.2)$$

- Para atributos numéricos com l valores alternativos (por exemplo, número de estrelas de um hotel)

$$Dist(a_i, p_{ji}) = \min \left\{ \left| \frac{a_{i1} - p_{ji}}{\max_{a_i} - \min_{a_i}} \right|, \left| \frac{a_{i2} - p_{ji}}{\max_{a_i} - \min_{a_i}} \right|, \dots, \left| \frac{a_{il} - p_{ji}}{\max_{a_i} - \min_{a_i}} \right| \right\} \quad (7.3)$$

- Para atributos numéricos com um intervalo de valores (por exemplo, um preço)

$$Dist(a_i, p_{ji}) = \begin{cases} 0, & \text{if } a_{i1} \leq p_{ji} \leq a_{i2} \\ \left| \frac{a_{i1} - p_{ji}}{\max_{a_i} - \min_{a_i}} \right|, & \text{if } p_{ji} < a_{i1} \\ \left| \frac{a_{i2} - p_{ji}}{\max_{a_i} - \min_{a_i}} \right|, & \text{if } p_{ji} > a_{i2} \end{cases} \quad (7.4)$$

onde \max_{a_i} e \min_{a_i} correspondem, respectivamente, aos valores máximos e mínimos conhecidos para esse atributo.

- Para a distância geográfica, foi utilizada uma distância Euclidiana normalizada

$$Dist(a_i, p_{ji}) = \sqrt{\left(\frac{x_a - x_{p_i}}{\max_x - \min_x} \right)^2 + \left(\frac{y_a - y_{p_i}}{\max_y - \min_y} \right)^2} \quad (7.5)$$

onde (x_a, y_a) e (x_{p_i}, y_{p_i}) , correspondem, respectivamente, à posição de interesse definida pelo utilizador, e à localização do ponto de interesse, e \max_x , \min_x , \max_y e \min_y , correspondem às coordenadas que definem os limites da área de pesquisa.

Após ter calculado as distâncias, é possível determinar os valores da função UI:

$$UI(a_i, p_{ji}) = 1 - Dist(a_i, p_{ji}) \times w_i, \quad w_i \in [0,1] \quad (7.6)$$

onde w_i é o peso para o atributo a_i , que pode ser definido pelo utilizador para especificar a importância que dá a esse atributo na interrogação feita.

Uma vez que todas as funções de distância (7.2, 7.3, 7.4 e 7.5), tal como a função UI (7.6), apenas podem ter valores entre 0 e 1, o resultado da função DoI (7.1) será também entre 0 e 1, reflectindo o grau de interesse que o utilizador tem num determinado ponto de interesse.

Através do uso da função de grau de interesse, é possível ordenar os diversos pontos de interesse e apresentar apenas aqueles que forem mais relevantes para o utilizador, fornecendo uma recomendação numérica para os que forem apresentados.

Para permitir ao utilizador uma melhor compreensão das relevâncias retornadas, em vez de apresentar um valor entre 0 e 1, é apresentado o valor correspondente como uma percentagem.

7.3 Função de Grau de Interesse Adaptativa (ADoI)

Após avaliar a função de grau de interesse descrita na secção anterior (Pombinho et al., 2009), foi possível concluir que, apesar de considerada útil, o seu uso pode ser confuso. Uma das razões para tal é a necessidade de especificar um conjunto alargado de atributos para cada pesquisa feita e, simultaneamente, perceber e especificar os pesos de cada um deles.

Para solucionar estas limitações, foram propostas algumas melhorias à função DoI anterior. Estas melhorias, que dizem respeito à utilização do contexto histórico e da sua adaptação à localização e ao contexto temporal, são detalhadas nas seguintes subsecções.

7.3.1 Contexto Histórico

Para permitir a redução da carga cognitiva sobre o utilizador, quando este tem de especificar uma pesquisa, adicionou-se uma opção para utilizar o contexto histórico para, de forma automática, auxiliar esta especificação.

Para cada par (tipo de atributo, valor do atributo) é armazenada uma contagem interna de quantas vezes foi utilizado numa pesquisa. Sempre que o utilizador especifica uma pesquisa, os atributos especificados e o seu valor são actualizados na base de dados interna. Este registo histórico permite que seja criada, ao longo do tempo, uma visão geral dos diferentes interesses do utilizador. Por exemplo, se o utilizador pesquisa, quase sempre, por restaurantes Italianos, é possível utilizar esta informação para especificar, de forma automática, o atributo “tipo de restaurante” sem que seja necessária uma acção adicional do utilizador. O peso, associado aos atributos especificados de forma automática é também definido automaticamente, sendo calculado como uma função do número de vezes em que foi escolhido em comparação com as restantes pesquisas.

7.3.2 Contexto Histórico Adaptado à Localização e Contexto Temporal

O tipo de pesquisas feitas pelo utilizador não é, no entanto, sempre o mesmo, dependendo da sua localização e do contexto temporal. Como exemplo, um utilizador pode ter interesses bastante diferentes consoante esteja à procura de um restaurante à hora do almoço, próximo do local de trabalho, ou à hora do jantar, perto da sua casa.

Por esta razão, é possibilitada aos utilizadores a definição de área geográficas que sejam relevantes (por exemplo, uma área de trabalho, ou área de residência) através da selecção, no mapa, de dois cantos oposto da área. Quando o utilizador faz uma pesquisa, os registos históricos

são armazenados / actualizados na secção da área geográfica / hora do dia apropriada. Sempre que uma nova pesquisa é feita, os atributos são automaticamente adaptados de acordo com o contexto temporal e de localização actual do utilizador.

De forma semelhante, também foi adicionada uma opção para armazenar o número de visitas a pontos de interesse específicos, para que a aplicação possa identificar quais os que podem ser mais importantes para o utilizador e quais nunca foram visitados.

Por último, é importante realçar a possibilidade que os utilizadores tem de poderem sempre sobrepor as suas próprias opções àquelas automaticamente escolhidas pela aplicação.

7.3.3 Distâncias Temporais

Tão importante como perceber quais os pontos de interesse que existem na vizinhança do utilizador, é também a identificação de quais destes estarão abertos quando o utilizador lá chegar. Como exemplo, se o utilizador estiver à procura de uma estação de serviço para abastecer de gasolina o seu carro, não será útil apresentar resultados que possam não estar abertos quando o utilizador lá chegar.

Por esta razão, adicionou-se uma nova função para calcular as distâncias temporais e um novo atributo tempo à função de grau de interesse. Esta função pode ser subdividida em três modos de cálculo da distância, dependendo da categoria do ponto de interesse que está a ser pesquisado. Nestes cálculos h_{op} e h_{cl} são, respectivamente, as horas de abertura e fecho do ponto de interesse, h_{ar} é o tempo previsto de chegada do utilizador (especificado pelo próprio, ou calculado automaticamente de acordo com a actual localização do utilizador), Δt_{st} é o tempo mínimo de permanência e Δt_{tol} é um intervalo de tempo de tolerância (ambos podem ser especificados pelo utilizador, tendo, no entanto, valores predeterminados por categoria de ponto de interesse).

- Se o utilizador pretende chegar apenas durante as horas de abertura, nunca antes ou depois (por exemplo, a um restaurante)

$$Dist_{temp} = \begin{cases} 0, & \text{if } h_{op} \leq h_{ar} < (h_{cl} - \Delta t_{st}) \\ 1, & \text{if } h_{ar} \geq (h_{cl} - \Delta t_{st}) \vee h_{ar} < h_{op} \end{cases} \quad (7.7)$$

- O utilizador pretende chegar antes (utilizando um intervalo de tempo de tolerância) ou durante as horas de abertura, nunca depois (por exemplo, a um museu)

$$Dist_{temp} = \begin{cases} 0, & \text{if } h_{op} \leq h_{ar} < (h_{cl} - \Delta t_{st}) \\ \frac{h_{op} - h_{ar}}{\Delta t_{tol}}, & \text{if } h_{ar} < h_{op} \wedge h_{ar} \geq (h_{op} - \Delta t_{tol}) \\ 1, & \text{if } h_{ar} \geq (h_{cl} - \Delta t_{st}) \vee h_{ar} < (h_{op} - \Delta t_{tol}) \end{cases} \quad (7.8)$$

- O utilizador pretende chegar antes da hora de abertura (utilizando um tempo de tolerância de chegada), nunca durante ou depois (por exemplo, a um concerto)

$$Dist_{temp} = \begin{cases} \frac{h_{op} - h_{ar}}{\Delta t_{tol}}, & \text{if } h_{ar} \geq (h_{op} - \Delta t_{tol}) \wedge h_{ar} < h_{op} \\ 1, & \text{if } h_{ar} > h_{op} \vee h_{ar} < (h_{op} - \Delta t_{tol}) \end{cases} \quad (7.9)$$

7.4 Implementação de um Protótipo de VA com Adaptação ao Contexto Histórico e Temporal

Para que seja possível avaliar as alterações propostas para a função de grau de interesse, foi desenvolvido um protótipo, utilizando o modelo proposto pela Chameleon, para um dispositivo Samsung Galaxy S3, com o sistema operativo Android 4.1.2.

No protótipo desenvolvido o utilizador pode interagir com uma interface consistindo num mapa 2D com uma representação da vizinhança do utilizador, com os resultados apresentados como ícones sobrepostos. Esta organização é apresentada na Figura 7.1.

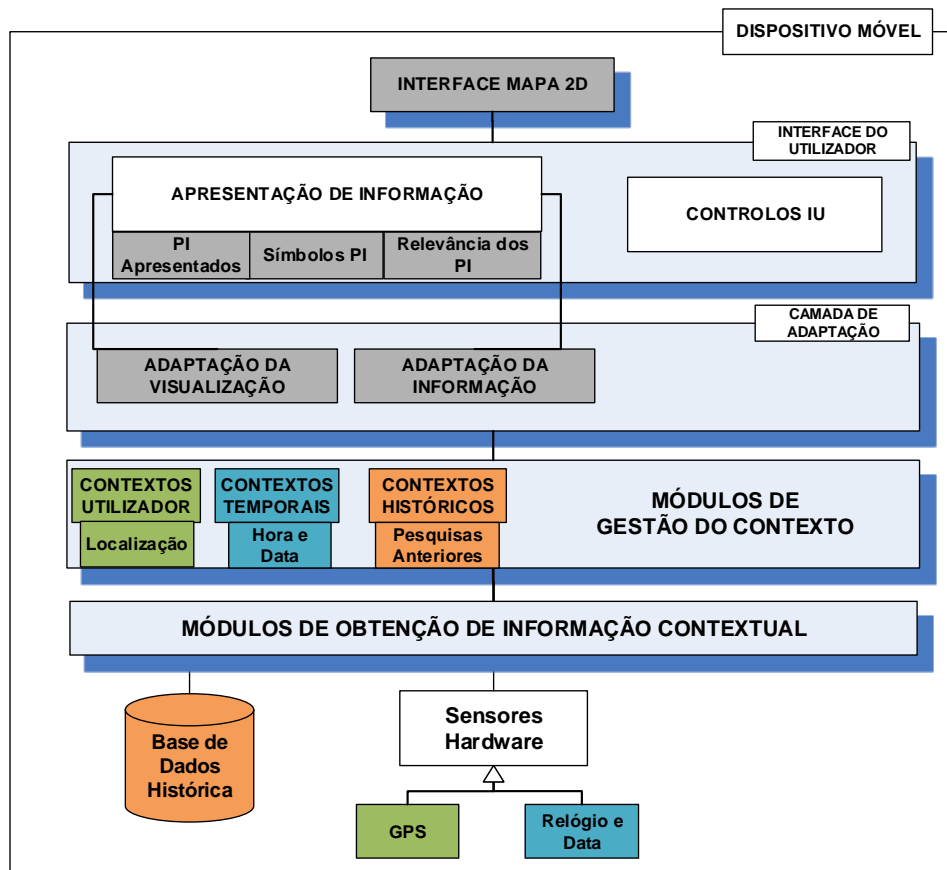


Figura 7.1: Arquitectura do protótipo

Na Figura 7.2 é apresentada a matriz de adaptação deste protótipo.

Através da utilização de contextos do Utilizador (localização), Temporal (hora e data) e Histórico (anteriores pesquisas do utilizador e restaurantes visitados / escolhidos), é possível

adaptar a Informação dos pontos de interesse apresentados. Desta forma, é possível ter em consideração a relevância que os diversos pontos de interesse têm para o utilizador, de acordo com o seu contexto actual.

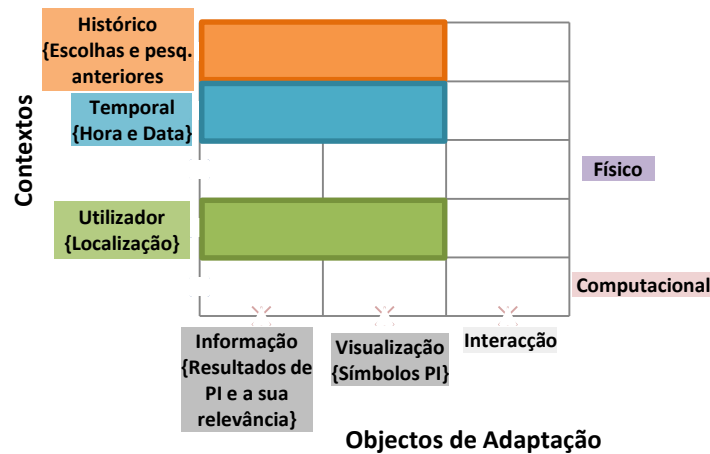


Figura 7.2 Matriz de adaptação

Na Figura 7.3 (a) é apresentado um exemplo da interface de especificação de pesquisas. O utilizador pode seleccionar quais os atributos que são explicitamente especificados e também alterar o peso atribuído a cada um destes. Como exemplo, na figura, o utilizador seleccionou o preço e distância com um peso baixo e a distância temporal com um peso alto.

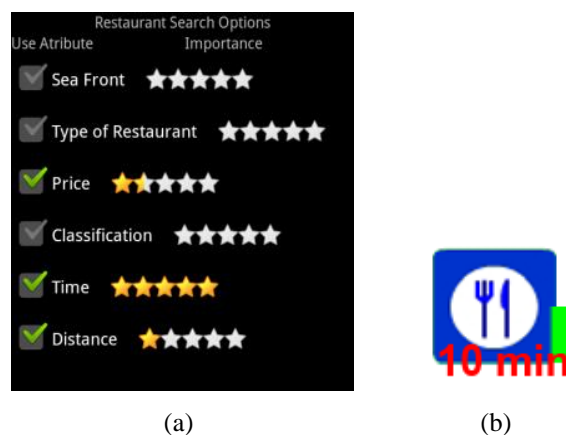


Figura 7.3. (a) Interface de especificação da pesquisa (b) Ícone de ponto de interesse

A interface de resultado mostra um mapa com ícones sobrepostos representando cada ponto de interesse. Estes ícones são compostos de três áreas diferentes (Figura 7.3 (b)): a área principal indica a categoria do ponto de interesse apresentado; à direita, utilizando uma abordagem proposta por Burigat e Chittaro (2008), utilizou-se uma barra verde para indicar o valor da relevância calculado através da função de grau de interesse (quanto maior a barra verde, maior a relevância

do resultado); na parte inferior do ícone, é apresentado um número que indica de quanto tempo o utilizador precisaria para lá chegar.

O protótipo pode ser utilizado em três modos de recomendação diferentes: um modo Standard que utiliza a função DoI sem utilizar o contexto histórico; um modo Exploratório que remove pontos de interesse já visitados das recomendações; e um modo Adaptativo que utiliza a função ADoI com contexto histórico, adaptado à actual localização e tempo do utilizador, para determinar as recomendações dos pontos de interesse.

O modo Standard utiliza a anterior função DoI (melhorada com a adição das distâncias temporais) sem o contexto histórico. Na Figura 7.4 (a) é dado um exemplo. Neste caso, o utilizador está à procura de restaurantes, mas apenas especificou a distância geográfica. Por esta razão, a relevância de cada ponto de interesse decresce à medida que a distância geográfica ao utilizador aumenta.

O modo Exploratório tem como objectivo ser utilizado quando os utilizadores pretendem experimentar “algo de novo”. Utiliza a informação sobre os pontos de interesse anteriormente visitados para remover aqueles que já são conhecidos do utilizador. Neste exemplo, na Figura 7.4 (b), dois dos restaurantes já haviam sido visitados pelo utilizador e foram, assim, filtrados.



Figura 7.4. (a) Modo Standard (b) Modo Exploratório

Finalmente, o modo Adaptativo utiliza a informação do contexto histórico para adaptar atributos não especificados pelo utilizador, de acordo com as pesquisas feitas anteriormente. Neste exemplo, na Figura 7.5 (a), o utilizador tinha, como experiências anteriores, pesquisado frequentemente por restaurantes Japoneses, à hora do almoço, próximo do local de trabalho. Por

esta razão, o restaurante no topo do ecrã (que é Japonês) obteve uma maior relevância. A Figura 7.5 (b) mostra a informação contextual, a pedido, sobre o restaurante seleccionado.

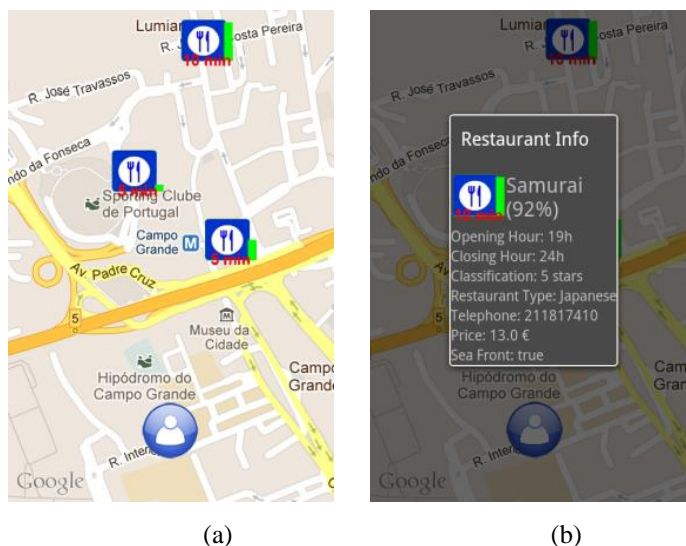


Figura 7.5. (a) Modo Adaptativo (b) Informação sobre o ponto de interesse seleccionado

A próxima secção descreve o estudo com utilizadores efectuado com o objectivo de avaliar e perceber o papel do contexto histórico nas escolhas e decisões feitas pelos utilizadores, em diferentes cenários.

7.5 Avaliação com Utilizadores – 1º Fase

Uma vez que a função adaptativa de grau de interesse ADoI utiliza um contexto histórico que representa, de forma implícita, as preferências de cada utilizador obtidas através das anteriores interacções com o sistema, é necessário ter esta informação para que seja possível uma correcta avaliação das melhorias propostas.

A melhor abordagem para o conseguir seria ter um conjunto significativo de participantes que testassem o protótipo desenvolvido no decurso de vários meses, de modo a que, lentamente, fossem construindo o contexto histórico, para que este se aproximasse dos seus interesses. No entanto, tal iria implicar um grande número de dispositivos para testes e também restrições temporais, algo que tornou tal abordagem impraticável.

Outra abordagem possível seria lançar a aplicação, por exemplo no Google Play (2015), e ter um conjunto alargado de participantes que testassem a aplicação nos seus próprios dispositivos. Para que tal abordagem fosse exequível, seria necessário ter dados sobre os pontos de interesse para áreas geográficas extensas, incluindo a informação sobre todos os atributos existentes, algo que, novamente, não demonstrou ser possível.

Por estas razões, para que fosse possível obter, até certo ponto, os interesses gerais dos participantes, efectuou-se uma primeira avaliação com esse propósito. Esta fase de avaliação será descrita nas subsecções seguintes.

7.5.1 Procedimento

Uma vez que o principal objectivo desta fase de avaliação era a obtenção dos interesses gerais dos participantes, esta consistia num questionário.

Para evitar influenciar a avaliação, os participantes não foram informados sobre qual era a verdadeira natureza do estudo sendo, alternativamente, apenas informados que se tratava de um estudo sobre restaurantes.

Foram perguntadas, inicialmente, aos participantes, algumas questões para estabelecer o seu perfil. De seguida foi-lhes pedido que ordenassem (por nível de importância), diversos atributos de restaurantes (por exemplo, preço e tipo de restaurante). Foram-lhes então apresentados três cenários diferentes de pesquisa de restaurantes: próximo do seu local de trabalho à hora do almoço; próximo de casa à hora do jantar; e longe de casa em férias, numa localização desconhecida. Os participantes foram inquiridos sobre se as suas preferências eram as mesmas e, caso contrário, para qual cenário as suas anteriores respostas eram mais semelhantes.

Subsequentemente foi-lhes pedido, para cada cenário, que especificassem quão importante era cada atributo e também as preferências para os dois atributos mais importantes.

7.5.2 Participantes

Este estudo contou com 13 participantes, seis homens e sete mulheres. As suas idades estavam compreendidas entre os 21 e os 62. As suas áreas de actividade era também diversas: três participantes vinham da área da administração, três eram programadores, dois eram estudantes (de ciências e economia) e os restantes cinco eram dos campos da medicina, filosofia, artes, biologia e química.

7.5.3 Resultados

Apesar de ter como objectivo principal a obtenção de informação para a segunda fase de avaliação, foram obtidos alguns dados relevantes.

Relativamente às preferências gerais dos participantes, foi interessante verificar que o “Tipo” e “Preço” eram, de longe, consideradas as mais importantes (Figura 7.6). No extremo oposto, a existência de uma “Esplanada” ou a “Classificação” foram consideradas menos importantes (Figura 7.7).

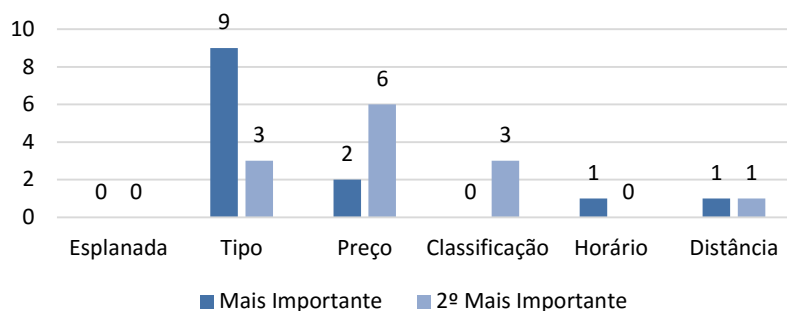


Figura 7.6: Atributos mais importantes de Restaurante

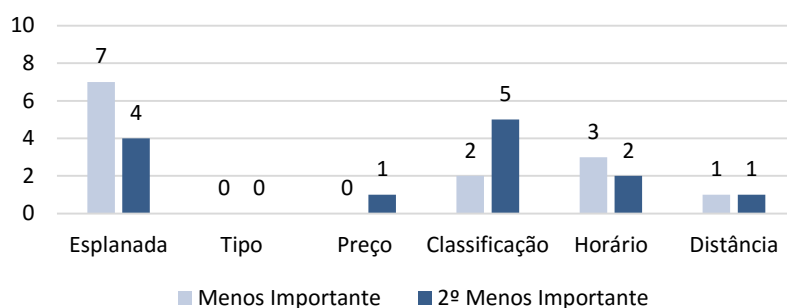


Figura 7.7: Atributos menos importantes de Restaurante

Reforçando a ideia que contextos diferentes criam necessidades diferentes, 62% dos participantes referiram que tinham preferências diferentes para os três cenários apresentados e, para a maioria destes, o cenário mais próximo das preferências gerais era a pesquisa de um restaurante próximo de casa, para jantar (Figura 7.8).

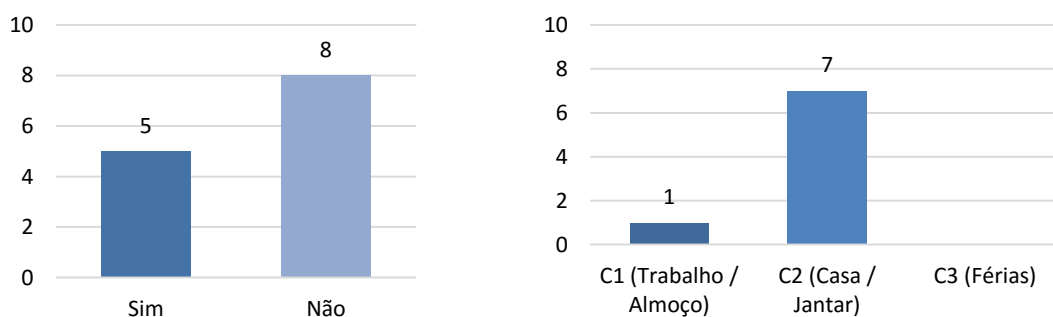


Figura 7.8: Utilizadores com preferências diferentes (à esquerda) e, para estes, qual o cenário mais próximo (à direita)

Finalmente, quando se consideram todas as respostas aos diferentes cenários, pode-se concluir que alguns atributos tem diferenças significativas entre eles (Figura 7.9).

A preferência por um restaurante com esplanada, por exemplo, é em geral muito baixa, no entanto, quando num cenário de férias, tem um aumento considerável de preferência. De modo semelhante, no cenário almoço / local de trabalho, o tipo de restaurante é tido menos em conta, enquanto o horário de abertura e a distância obtêm uma maior preferência dos participantes.

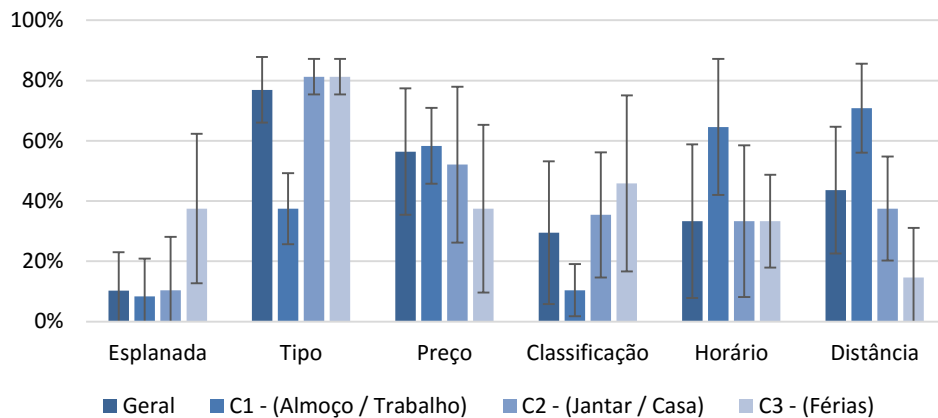


Figura 7.9: Classificação média e desvio padrão para cada atributo / cenário

Apesar de, como referido, o objectivo nesta fase ser a obtenção de dados que nos permitissem realizar a segunda fase de avaliação, e apesar de se ter testado um número reduzido de participantes, os resultados obtidos revelam uma forte tendência para a existência de interesses diferentes quando estes mudam de cenários / contextos.

7.6 Avaliação com Utilizadores – 2ª Fase

Nesta secção irá ser descrita a segunda fase de avaliação das funções de grau de interesse, nomeadamente dos três modos diferentes. O principal objectivo desta fase de avaliação era compreender se os conceitos propostos eram de fácil compreensão pelos participantes, e se a função adaptativa ADoI obtinha valores de grau de interesse que, quando comparados com os reais interesses dos participantes, eram mais próximos destes do que a função DoI anterior.

Através da análise da fase de avaliação anterior, e de acordo com as observações, foram consideradas cinco hipóteses.

H1 – O modo Exploratório da função de grau de interesse será considerado mais útil em cenários nos quais os participantes querem escolher pontos de interesse diferentes dos que já conhecem.

H2 – Quer os participantes com preferências diferentes nos cenários apresentados, quer aqueles que não manifestaram preferências diferentes, irão preferir a utilização da função adaptativa ADoI, considerando-a mais fácil de utilizar.

H3 – A distância temporal será mais utilizada que a distância geográfica.

H4 – A função DoI Standard terá resultados semelhantes à função ADoI para participantes cujas preferências não variam entre cenários.

H5 – A função adaptativa irá obter resultados (tanto em valor como na ordenação) mais próximos das reais preferências dos participantes que têm diferenças entre cenários.

7.6.1 Procedimento

Uma vez que os participantes na segunda fase de avaliação foram os mesmo que na primeira, e para que fosse possível minimizar alguma perturbação entre as duas fases, optou-se por ter um intervalo de tempo entre ambas as fases que foi superior a um mês.

Adicionalmente, utilizando a informação obtida na primeira fase foi instanciada, para cada participante, a base de dados com o contexto Histórico, com valores que se assemelhavam aos interesses dos participantes.

A tarefa inicial foi feita antes de se terem esclarecido totalmente os participantes sobre o propósito da avaliação e antes de lhes ter sido apresentado o protótipo da aplicação, tendo-lhes sido pedido que preenchessem um formulário em papel.

De seguida cada participante foi informado do objectivo da avaliação e de que forma os conceitos propostos funcionavam, sendo-lhes dado algum tempo para que experimentassem a aplicação e as suas diferentes funcionalidades até que se sentissem confortáveis para prosseguir. De seguida executaram um conjunto de tarefas, cada uma destas, sucedida pela resposta a algumas questões relacionados com a tarefa actual.

Enquanto os participantes executavam as tarefas foram feitas observações e foram anotados os comentários feitos.

Após terem executado todas as tarefas, foi pedido aos participantes que classificassem alguns dos conceitos testados, utilizando uma escala de Lickert de sete níveis (onde 1 representa a pior classificação e 7 a melhor). Finalmente, foram pedidos comentários e sugestões finais.

7.6.2 Tarefas

Esta fase de avaliação consistiu em cinco tarefas:

Primeira Tarefa – Na tarefa inicial foram apresentados aos participantes, para cada cenário (utilizados na primeira fase), uma lista (em papel) com diversos pontos de interesse e os seus respectivos atributos. Foi-lhes então pedido que analisassem a lista e que ordenassem os pontos de interesse de acordo com as suas preferências e que lhes dessem uma classificação de 0 a 100%.

Esta tarefa tinha o objectivo de validar **H4** e **H5**, permitindo a comparação da ordenação e do valor dado pelos participantes, com os obtidos através da função DoI Standard e da Adaptativa, para cenários idênticos.

Segunda Tarefa – A segunda tarefa foi uma tarefa introdutória, onde cada conceito foi brevemente explicado aos participantes e onde lhes foi dado tempo suficiente para que experimentassem livremente a aplicação.

Terceira Tarefa – Esta tarefa estava dividida em três subáreas, cada uma permitindo testar um dos três modos das funções de grau de interesse (nomeadamente, a DoI standard, a DoI exploratória e a DoI adaptativa).

O propósito desta tarefa era, simultaneamente, permitir aos participantes que se acostumassem a cada um dos modos de utilização e também que avaliassem quão fácil de compreender era cada um dos conceitos propostos.

Quarta Tarefa – A quarta tarefa colocava os participantes num cenário em que, implicitamente, lhes era dito para encontrarem “algo de novo” e também que tinham pouco tempo disponível. A informação obtida na primeira fase de avaliação foi utilizada e os participantes tinham a liberdade de escolher como queriam especificar a pesquisa e qual dos modos utilizar.

Esta tarefa tinha o objectivo de descobrir se a maioria dos participantes escolhia utilizar o modo Exploratório, validando **H1**. Adicionalmente, uma avaliação qualitativa foi também feita para perceber se esta opção é realmente útil. Finalmente, a utilização da distância temporal foi também analisada (para validação de **H3**).

Quinta Tarefa – Por último, na tarefa final os participantes tinham de pesquisar por um restaurante próximo do seu local de trabalho, à hora do almoço. Tinham a liberdade de escolher o modo a utilizar e como especificar a pesquisa.

O objectivo desta tarefa era perceber de que forma os participantes escolhiam cada um dos modos de pesquisa. De seguida foi também obtida uma avaliação qualitativa de cada modo. Desta informação pretendia-se perceber se **H2** era válida e obter dados para a validação de **H3**.

7.6.3 Resultados e Discussão da Avaliação

Para efectuar a comparação entre as relevâncias dadas pelos participantes, para cada ponto de interesse, e os valores obtidos através da utilização da DoI Standard e da DoI Adaptativa, foram subtraídos os valores fornecidos pelos participantes aos valores calculados por cada um dos tipos de DoI e compararam-se os resultados.

É possível ver que, para ambos os modos, as relevâncias calculadas pelas funções são, em média, mais baixas que aquelas dadas pelos participantes (Figura 7.10). Este facto deve-se provavelmente à natureza penalizadora de ambas as funções quando comparadas com o modo como os utilizadores classificam os pontos de interesse. Um participante referiu que apenas por ser um restaurante iria classificar com um valor de 50%. Esta opção foi justificada pela sua experiência com algumas aplicações de pesquisa de pontos de interesse que, por vezes, retornavam resultados de outras categorias que não as que estava à procura (por exemplo, mostrando hotéis quando à procura de restaurantes).

Para que seja possível calcular correctamente as diferenças entre os valores dados pelos utilizadores e aqueles retornados pelas funções de relevância, foram calculadas também as médias absolutas, para eliminar possíveis subtrações de diferenças.

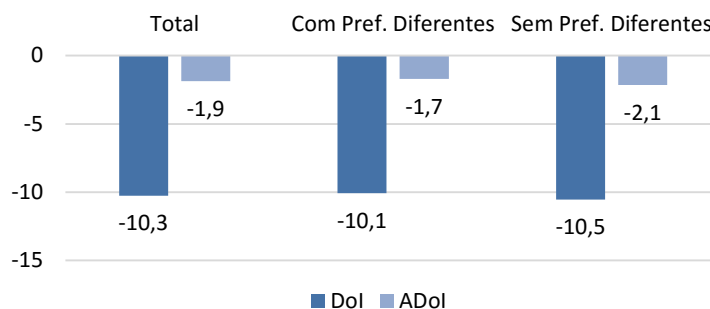


Figura 7.10: DoI vs. ADoI: média das diferenças dos valores para os participantes com e sem diferenças entre as preferências dos diversos cenários

Relativamente às diferenças de relevância, em valor absoluto (Figura 7.11), ambas as funções têm desvios significativos dos valores dados pelos participantes (cerca de 20%). No entanto, quando se consideram apenas as diferenças na ordenação (Figura 7.12) existe, em média, uma diferença inferior a 1. Este valor indica que, em geral, os resultados estão de acordo com as preferências dos utilizadores.

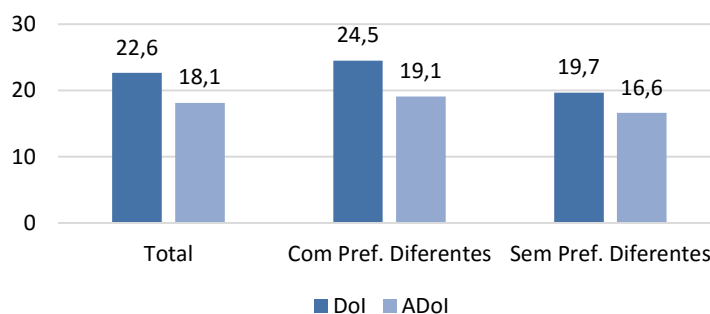


Figura 7.11: DoI vs. ADoI: média das diferenças, em valor absoluto, valores para os participantes com e sem diferenças entre as preferências dos diversos cenários

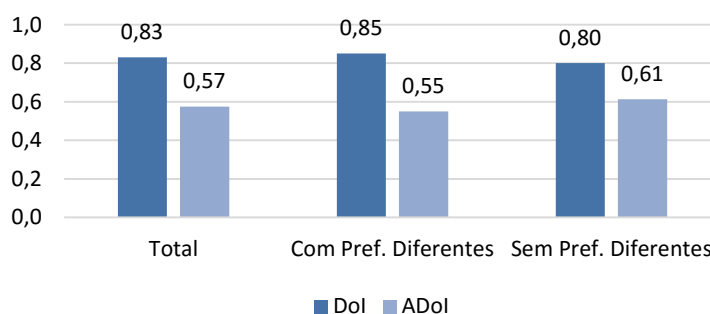


Figura 7.12: DoI vs. ADoI: média absoluta das diferenças de ordenação, valores para os participantes com e sem diferenças entre as preferências dos diversos cenários

Em todos os cenários considerados, a DoI Adaptativa teve melhores resultados que a DoI Standard, obtendo tanto valores como ordenações que correspondiam melhor aos valores indicados pelos utilizadores. Este facto confirma **H5**; no entanto, surpreendentemente, **H4** é refutada uma vez que mesmo para os participantes sem diferenças de preferência a função adaptativa obteve melhores resultados. De facto, os resultados obtidos com os diferentes grupos de participantes não mostraram uma diferença significativa entre eles.

Relativamente à facilidade de compreensão dos conceitos propostos, todos foram classificados pelos participantes de forma positiva. O conceito que teve maior dificuldade para ser compreendido foi o conceito adaptativo mas, mesmo para este, a maioria dos participantes considerou-o suficientemente compreensível (Figura 7.13).

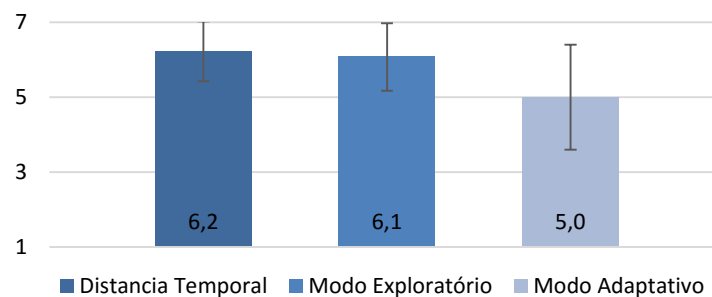


Figura 7.13: Facilidade de compreensão de cada conceito (1 – muito difícil / 7 – muito fácil)

De igual modo, todos os modos de DoI foram considerados muito úteis, tendo apenas o modo exploratório obtido algumas classificações ligeiramente negativas (Figura 7.14).

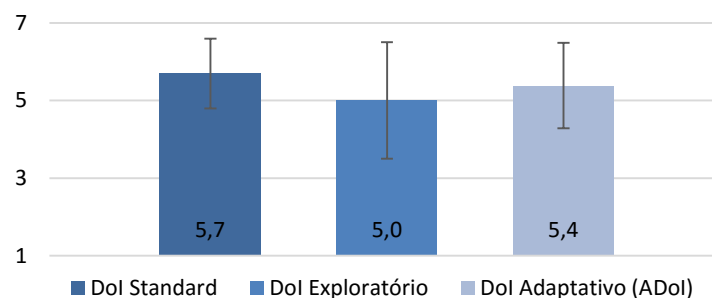


Figura 7.14: Utilidade de cada modo DoI (1 – nada útil / 7 – muito útil)

Para validar **H1**, examinou-se quantos participantes escolheram efectuar a pesquisa na tarefa 4 utilizando o modo exploratório (Figura 7.15). Apesar de ter obtido uma classificação de utilidade ligeiramente pior, apenas dois participantes escolheram outros modos de utilização, validando deste modo **H1**.

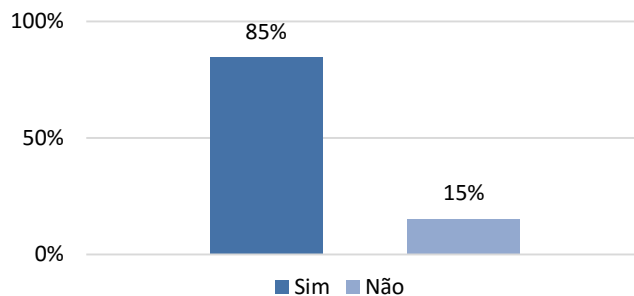


Figura 7.15: Utilização do modo exploratório na tarefa 4

No que diz respeito à **H2**, a hipótese é apenas parcialmente validada. Enquanto na tarefa 5, dois terços dos participantes preferiram utilizar o modo de DoI adaptativo (Figura 7.16), quando foram interrogados sobre qual preferiam, foram obtidas respostas mistas, com um igual número de participantes a preferir cada modo. Como alternativa, mais de metade dos participantes preferem ter ambos os modos disponíveis (Figura 7.17). Isto é parcialmente contrário ao que se poderia supor, uma vez que o modo adaptativo teve, consistentemente, resultados mais próximos das classificações dadas pelos participantes.

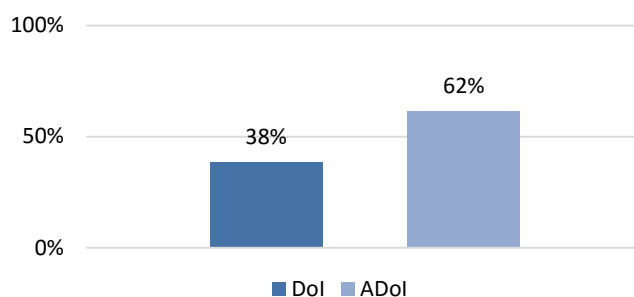


Figura 7.16: Utilização do modo DoI vs. ADol na tarefa 5

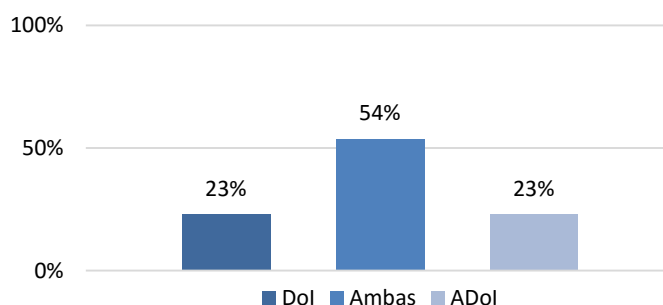


Figura 7.17: Preferência entre o modo DoI e ADol

Finalmente, relativamente a **H3**, os resultados contradizem parcialmente a hipótese apresentada. Apesar de a distância temporal ser, em geral (e especificamente na tarefa 5), mais utilizada do que a distância geográfica (Figura 7.18), quando se perguntou aos participantes qual preferiam, houve duas vezes mais participantes a preferir a distância geográfica (Figura 7.19).

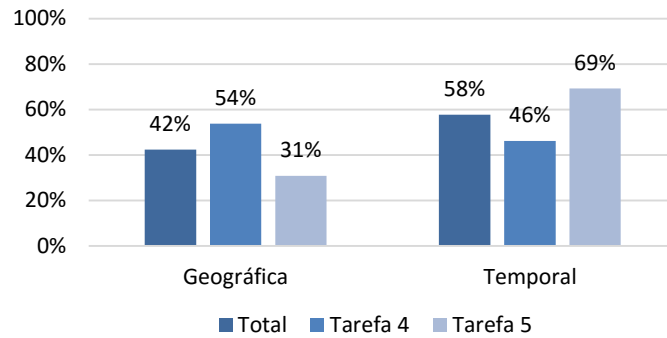


Figura 7.18: Utilização da distância Temporal vs. Geográfica

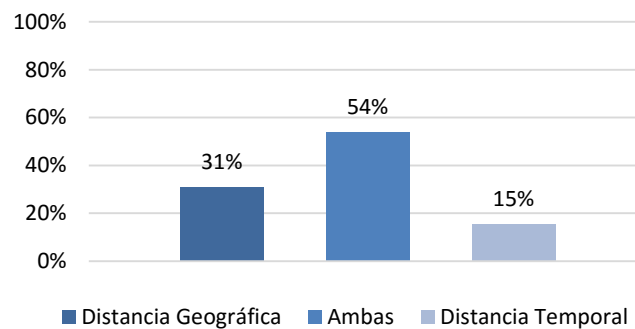


Figura 7.19: Preferência por distância Temporal vs. Geográfica

É importante realçar, no entanto, que mais de metade dos participantes prefere que ambas as distâncias estejam disponíveis.

7.7 Sumário e Discussão

Neste capítulo foi apresentada uma função de grau de interesse adaptativa que estende a função de grau de interesse proposta anteriormente. Esta função utiliza informação sobre os registos históricos das anteriores pesquisas feitas pelo utilizador, para que seja possível adaptar as novas pesquisas ao interesse do utilizador.

Foi também apresentada a avaliação, em duas fases, às duas funções de grau de interesse propostas.

O protótipo apresentado contribui para a área da visualização de informação em dispositivos móveis ao fornecer uma compreensão acerca do papel da informação histórica, ligada aos contextos de localização e temporal, na identificação das preferências do utilizador em diferentes cenários.

O trabalho apresentado fornece evidências que as preferências dos utilizadores mudam, por vezes de forma significativa, dependendo do contexto no qual se encontram (tanto temporal como geográfico).

Dos resultados obtidos, e descritos na secção anterior, é possível concluir que os conceitos propostos são considerados úteis e são facilmente compreendidos pelos utilizadores.

Pode-se também testemunhar uma clara melhoria, tanto nos valores como na ordenação, da recomendação dos pontos de interesse quando utilizando a função adaptativa. Esta melhoria sugere que o uso de contextos mais enriquecidos pode ajudar significativamente no modo como as aplicações modelam e identificam os interesses dos utilizadores, permitindo uma melhor selecção da informação apresentada em função da sua relevância. Ao dispor de um melhor critério na escolha da informação a apresentar, e ao apresentá-la de uma forma que se adequa melhor aos contextos do utilizador, pode reduzir-se a carga cognitiva associada a este tipo de sistemas e melhorar a sua usabilidade.

Este estudo foi, no entanto, constringido à necessária organização em duas fases (o que limitou a sua praticabilidade). Para que fosse possível obter resultados mais significativos, seria necessário testar um maior número de utilizadores.

Foram também observadas algumas classificações dadas pelos utilizadores que levantam algumas questões pertinentes. Por exemplo, um dos utilizadores classificou um restaurante com 0% devido a ser do tipo Vegetariano e ao facto de “detestar” aquele tipo de comida. Este facto sugere que, possivelmente, deveriam existir não apenas preferências positivas, mas também negativas.

Adicionalmente também se verificou, ao observar os utilizadores, que apesar de as suas preferências serem claramente visíveis, existem diferenças mais subtis que também dependem dos diferentes contextos. Este facto está possivelmente relacionado com a grande diferença de valores obtidos, e indica que a função DoI poderia ser dividida em dois termos: um representando os atributos especificados pelo utilizador (as preferências actuais e mais voláteis), que poderiam ter um peso maior; e as restantes, representando os interesses obtidos pelo contexto histórico, com um peso inferior.

Seria interessante, no futuro, explorar um conjunto de diferentes contextos que também possam ser utilizados para filtrar e particionar a base de dados do Contexto Histórico. A utilização das actuais condições ambientais na área envolvente ao utilizador pode, por exemplo, alterar as preferências por restaurantes com e sem esplanada, dependendo se está ou não a chover. De igual forma, quando os utilizadores estavam a considerar os cenários de férias no estrangeiro, muitos expressaram o desejo de escolher o tipo de restaurante como “Típico”. Este facto indica que a noção de estar fora do país (facilmente obtida através da análise das localização do utilizador) pode alterar significativamente as preferências dos utilizadores.

Para finalizar, o desenvolvimento deste protótipo serviu como prova de conceito do modelo proposto pela Chameleon com um conjunto mais diverso de contextos de uso e de categorias de contexto diferentes das utilizadas anteriormente.

Capítulo 8

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo serão feitas as conclusões finais ao trabalho apresentado ao longo deste documento.

Tal como foi introduzido no Capítulo 1, os objectivos inicialmente propostos neste trabalho foram:

- Efectuar uma análise que permitisse a identificação e categorização dos contextos de uso, existentes num cenário de mobilidade, e dos objectos presentes em aplicações de visualização de informação que pudessem ser adaptados em função dos contextos disponíveis.
- Propor um modelo conceptual que servisse de base ao desenvolvimento de aplicações de VA para dispositivos móveis que permitisse a utilização de um conjunto diverso de contextos de uso e que fosse reutilizável em diferentes domínios aplicacionais.
- Construir protótipos que servissem como prova de conceito do modelo conceptual proposto e que, simultaneamente, propusessem novos métodos de adaptação que contribuíssem para área da visualização de informação em dispositivos móveis e permitissem a captura de novos tipos de informação contextual.

Nas secções seguintes irão ser descritas as contribuições feitas em cada um dos pontos referidos. Assim, na secção seguinte irá ser feito um resumo das categorizações propostas e, na secção 8.2 irá ser discutida a infra-estrutura conceptual Chameleon ambas descritas no Capítulo 4.

Na secção 8.3 serão discutidos os protótipos desenvolvidos e os métodos de adaptação propostos através destes, descritos nos Capítulos 5, 6 e 7.

Por último, na secção 8.4 serão feitas as conclusões finais e na secção 8.5 será descrito o trabalho futuro.

8.1 Categorizações Propostas

Para que fosse possível compreender de que forma se podia propor uma infra-estrutura conceptual que pudesse servir de base à criação de aplicações de VA, foi primeiro necessário identificar e categorizar os componentes dos sistemas de VA em dispositivos móveis.

Assim, foi feita uma análise (Secção 3.1) na qual foi possível identificar quais os contextos existentes em cenários de mobilidade e de que formas estes se relacionavam. Com o conhecimento obtido foi possível combinar e expandir algumas classificações existentes e foi proposta uma nova categorização, na qual é possível classificar os diferentes contextos identificados (Secção 4.1).

Esta classificação considera cinco tipos de contexto:

- Contexto do Utilizador – que dependem directamente deste.
- Contexto Físico – relacionados com o ambiente envolvente ao utilizador mas não directamente influenciados por este.
- Contexto Temporal – que integram os contextos relacionados com a data e hora.
- Contexto Computacional – que contêm as especificações técnicas do dispositivo.
- Contexto Histórico – que inclui os contextos relacionados com as experiências anteriores do utilizador.

A identificação dos contextos existentes permitiu elaborar algumas estratégias para a sua obtenção, bem como iniciar o desenvolvimento de alguns dos módulos respectivos.

De forma semelhante, foram também analisados os diferentes objectos de adaptação existentes em aplicações de visualização (Secção 3.2) e, utilizando esta análise, foi proposta uma categorização para estes objectos (Secção 4.2). Esta proposta classifica os objectos de adaptação em:

- Objectos de Informação – contêm os dados obtidos, que poderão eventualmente ser apresentados ao utilizador.
- Objectos de Visualização – que incluem todos os elementos gráficos que compõem a visualização propriamente dita.
- Objectos de Interacção – que integra os objectos relacionados com a interacção com o utilizador.

Esta etapa permitiu perceber quais eram, potencialmente, alguns dos possíveis métodos de adaptação a explorar nos protótipos que se pretendia desenvolver.

As categorizações propostas são suficientemente abrangentes, permitindo a sua utilização na classificação dos diversos métodos de adaptação analisados. Têm, também, capacidade de expansão, permitindo a incorporação de novos contextos e objectos de adaptação.

Estas categorizações constituem a primeira etapa para a identificação e desenho dos componentes que integram a Chameleon analisada na secção seguinte.

Por último, foi também efectuada uma pesquisa que permitiu identificar possíveis métodos de adaptação e relacioná-los com as categorizações propostas para os contextos de uso e os objectos de adaptação. Para o efeito foi utilizada uma matriz de classificação de métodos de adaptação que relaciona as duas categorizações. (Secção 4.3).

8.2 Chameleon

Após a identificação dos principais componentes de um sistema de VA para dispositivos móveis, foi efectuada uma análise às diferentes formas de os organizar (Secção 3.3) e como as classificar (Secção 3.4).

Esta análise permitiu reconhecer os aspectos fundamentais que deveriam ser incluídos na proposta de infra-estrutura conceptual da Chameleon, bem como identificar as limitações existentes e propor uma solução para estas.

Assim, foi proposta a Chameleon (Secção 4.4), que tem como objectivo estruturar e servir de modelo na concepção e desenvolvimento de aplicações de VA de informação em dispositivos móveis. A organização proposta na Chameleon utiliza uma abordagem “*top-down*”, associando os três componentes básicos dos sistemas de VA, nomeadamente os objectos de adaptação, os métodos de adaptação e os contextos de uso, com as três principais camadas do modelo.

A organização proposta, foi estruturada de forma a que:

- Seja suficientemente genérica para permitir a utilização de um conjunto alargado de contextos de uso e respectivos métodos de adaptação em aplicações de VA.
- Tenha uma estrutura independente da aplicação de forma a permitir a sua utilização em diferentes domínios aplicacionais.
- Permita a obtenção de informação contextual através de fontes presentes no dispositivo ou através do uso de servidores de contexto externos, acessíveis através a ligação de dados.
- Garanta a independência entre as camadas, possibilitando uma maior facilidade de reutilização dos módulos de uma camada, em aplicações e domínios distintos.
- Integre a possibilidade de criar novos contextos mais complexos, calculados através da agregação de contextos de menor nível de complexidade.

- Contenha mecanismos que permitam o cálculo da qualidade dos contextos (atômicos e agregados) para que os métodos de adaptação possam escolher, em cada instante, os mais adequados para realizar a adaptação.
- Forneça a possibilidade de utilização de informação contextual histórica, obtida quer através de registos históricos dos contextos, como através da compilação de outras fontes de informação.

8.3 Protótipos de VA

Como prova de conceito do modelo proposto pela Chameleon, foram desenvolvidos diversos protótipos baseados nesta organização. Estes protótipos tinham também o objectivo de propor novos métodos de adaptação que contribuíssem para a área da visualização de informação em dispositivos móveis.

O primeiro protótipo desenvolvido consiste num sistema de VA adaptada à localização e orientação do utilizador (Capítulo 5). O sistema desenvolvido permite visualizar os pontos de interesse que se encontram em redor do utilizador. Este protótipo propõe uma técnica que facilita a identificação dos pontos de interesse à volta do utilizador. Através desta técnica é identificado o local para onde o dispositivo está a ser apontado e é apresentada a fotografia, do ponto de interesse, que mais se assemelha à actual localização e orientação do utilizador.

A interface desenvolvida utiliza uma vista de realidade aumentada que permite ao utilizador comparar o que está a ver à sua frente com a informação e imagem apresentada sobre os pontos de interesse.

O segundo protótipo foi concebido com o objectivo de avaliar a obtenção do contexto de localização de um utilizador, no interior de um edifício. Assim, o protótipo implementado consiste numa aplicação de visualização de pontos de interesse, no interior de um edifício, que utiliza esta informação contextual. Para este efeito, foi proposto um algoritmo de posicionamento no interior que utiliza a informação contextual dada pelo acelerómetro e pela bússola do dispositivo móvel, nas mãos do utilizador, não necessitando de infra-estruturas instaladas no edifício, nem de sensores externos ao dispositivo.

Após terem sido realizadas algumas experiências com utilizadores, foi possível perceber quais os parâmetros de configuração deste algoritmo, e também a forma como estes poderiam ser adaptados automaticamente. Desta forma, foi implementado um novo protótipo, que utiliza a informação de localização, obtida pelo GPS, quando o utilizador está no exterior do edifício, para calcular, de forma automática, quais os melhores valores para o algoritmo de localização utilizar no interior do edifício. Este protótipo adapta também o tipo de interface apresentado ao utilizador, consoante o modo como este segura o dispositivo e o tipo de ambiente em que se encontra.

Finalmente, foi também construído um protótipo que utiliza uma função de relevância adaptativa, que utiliza o contexto histórico das anteriores pesquisas feitas pelo utilizador, dependendo do local e hora em que foram feitas.

O estudo realizado, com este protótipo, evidencia a alteração às preferências dos utilizadores consoante o contexto, reforçando a necessidade de adaptação a esta informação contextual.

Este protótipo permite verificar uma melhoria das relevâncias calculadas para os diferentes utilizadores, dependendo não apenas das preferências gerais destes, mas também do modo como estas preferências se alteram consoante a hora e o local onde o utilizador se encontra.

8.4 Conclusões Finais

O desenvolvimento e implementação dos protótipos serviu como prova de conceito da utilização do modelo proposto pela Chameleon. De facto, a implementação dos protótipos, apesar de terem âmbitos muito distintos, permitiu a reutilização dos diversos módulos que foram sendo desenvolvidos e da estrutura das aplicações, de acordo com o modelo da Chameleon.

O desenvolvimento dos protótipos referidos na secção anterior abarcam diversos tipos de contexto de uso, bem como cenários de utilização bastante diferentes. Adicionalmente, devido às limitações próprias de um tipo de dispositivos que está em constante evolução, mas aproveitando esse facto para que fosse possível testar a Chameleon em diferentes suportes, os protótipos foram implementados e testados em diferentes dispositivos e sistemas operativos com características distintas, como por exemplo: diversas versões do sistema Windows Mobile da Microsoft, e diversas versões dos sistemas Android da Google.

O desenvolvimento destes protótipos permitiu verificar, na utilização da Chameleon, a utilização de um conjunto mais alargado de contextos e o cálculo de contextos mais complexos, utilizando a agregação da informação contextual de contextos de menor complexidade.

Por último, os resultados associados ao que foi descrito anteriormente foram publicados em conferências e revistas relevantes para a área da Visualização de Informação e, em particular, para a área da Computação Móvel.

8.5 Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido propiciou o alargamento do conhecimento sobre a definição dos contextos de uso em ambientes de mobilidade e dos métodos de adaptação fundamentais para a concepção de aplicações de visualização para dispositivos móveis. Por outro lado, permitiu o estabelecimento de um modelo de uma infra-estrutura vocacionada para a concepção e desenvolvimento deste tipo de aplicações, tendo em vista a sistematização e estruturação do seu processo de desenvolvimento.

A realização dos objectivos e a obtenção dos resultados deixa em aberto um conjunto de aspectos interessantes que sobressaem da experiência do trabalho realizado e que permitem antever uma linha de evolução. Passam-se a identificar alguns aspectos que são susceptíveis de conduzir uma investigação futura:

- A estruturação das componentes da Chameleon segundo uma arquitectura baseada em composição de componentes permite a reutilização dessas componentes de um modo modular e extensível. Uma direcção de trabalho futuro é explorar a utilização do modelo proposto pela Chameleon em situações em que os módulos responsáveis pelos contextos de uso pudessem ser utilizados, concorrentemente, por mais do que uma aplicação. Esta possibilidade tem o potencial de agilizar a carga das aplicações de visualização adaptativas, uma vez que permite partilhar as camadas de gestão dos contextos, não sendo necessária a sua duplicação em aplicações distintas.
- A possibilidade de utilização concorrente levanta questões particularmente relevantes para as aplicações móveis de visualização adaptativa de informação com o alargamento dos requisitos essenciais, associando-os aos aspectos de privacidade da informação contextual e à sua partilha com diversas aplicações. Assim, seria útil perceber, por exemplo, qual a melhor forma de gerir a disponibilização de determinados contextos a uma aplicação, ao mesmo tempo que se restringia o seu acesso a outras, bem como se seria viável a existência, simultânea, de diferentes níveis de precisão, consoante a aplicação à qual o contexto é disponibilizado.
- Outra direcção interessante situa-se na área dos métodos de adaptação explorados nos diversos protótipos. No caso da adaptação à localização e orientação do utilizador, seria relevante explorar a identificação automática da presença dos pontos de interesse no campo de visão da câmara do dispositivo. Esta funcionalidade é especialmente útil para facilitar a identificação em situações que o ponto de interesse não esteja totalmente visível, ou esteja muito próximo de outro ponto de interesse, dificultando a sua distinção. Para tal, uma abordagem possível é a utilização de algoritmos para comparar a imagem capturada em tempo real, com as fotografias armazenadas do ponto de interesse tiradas na direcção relevante.
- Na área dos métodos de captura de contexto existem também alguns desafios importantes. Em particular no algoritmo de detecção da posição do utilizador no interior de edifícios, o passo seguinte será a avaliação e adaptação do algoritmo, em edifícios com arquitecturas mais complexas, envolvendo escadas, passadeiras rolantes, e elevadores. Este tipo de tipologias, nomeadamente no caso dos elevadores, podem apresentar um

desafio para uma correcta identificação da localização do utilizador, uma vez que é imprescindível saber qual o piso em que este se encontra.

- As adaptações às técnicas de filtragem, exploradas no capítulo 7, continuam a ser um caminho de investigação importante. É relevante explorar a integração de novos contextos que possam dar o seu contributo para melhorar a eficiência das funções de grau de interesse utilizadas, permitindo capturar, com o maior detalhe possível, as subtilezas existentes no interesse de cada utilizador, em situações distintas.
- Os protótipos desenvolvidos utilizaram um conjunto de diferentes contextos de uso. Contudo, foram desenvolvidos outros módulos de captura de contexto, tais como, luminosidade, pressão e temperatura, entre outros. Como direcção futura, será necessária a experimentação e validação destes novos contextos no desenvolvimento de novos protótipos baseados na Chameleon. É também importante continuar a explorar de que forma se podem capturar, ou calcular, novos tipos de informação contextual que tenham o potencial de permitir a criação de novos métodos de adaptação.
- Apesar dos protótipos desenvolvidos terem, na sua origem e motivação, objectivos distintos, seria interessante explorar a sua integração num único sistema, permitindo analisar não só, de que forma as diferentes técnicas se complementam, mas também a facilidade de integração dos diferentes módulos.
- A avaliação dos sistemas adaptativos é também um importante tópico de investigação futura. Ao longo do trabalho efectuado foram encontradas algumas dificuldades na avaliação destes sistemas, nomeadamente no protótipo descrito no capítulo 7. De facto, a avaliação de sistemas que dependem, de forma próxima, das preferências do utilizador e do seu historial, obrigam a períodos de avaliação que podem ser demasiado longos, constituindo uma dificuldade na sua realização. Deste modo, é relevante explorar formas de minimizar estes problemas e, ao mesmo tempo, obter avaliações que permitam tirar conclusões de forma fiável.
- A utilização do modelo proposto pela Chameleon revelou a sua utilidade em diferentes cenários de aplicação. No entanto, seria interessante explorar, no futuro, a sua utilização em domínios aplicativos mais complexos, aos quais estão associados outros tipos de restrições. Deste modo, seria interessante explorar domínios como o da Astronomia, para o qual já existem algumas aplicações que permitem identificar os objectos para os quais se aponta o dispositivo. Estas aplicações requerem o conhecimento preciso da localização do utilizador, da hora (universal) em que este se encontra e das coordenadas (ascensão recta e declinação) para onde está a apontar o dispositivo. Adicionalmente, uma vez que

este tipo de aplicações são utilizadas para facilitar a observação astronómica terrestre, seria útil incorporar informação sobre as condições meteorológicas no local do observador, bem como informação acerca dos níveis de poluição luminosa, de forma a calcular a facilidade de observação dos diferentes pontos de interesse celestes.

- O aparecimento de dispositivos cada vez mais robustos e de acessórios que permitem a sua utilização em ambientes mais diversos pode também proporcionar novos domínios a explorar. A utilização de aplicações adaptativas em meios aquáticos, por exemplo, pode potenciar o domínio do turismo bem como servir de ferramenta para a investigação marinha. Para este tipo de aplicação é necessário explorar e adaptar os diversos modos de captura dos contextos, nomeadamente dos contextos de localização e orientação, bem como explorar novos contextos específicos desse tipo de cenário.
- De igual modo, um domínio que tem evoluído nos últimos anos na utilização das novas tecnologias, é o domínio da agricultura de precisão. Neste tipo de agricultura são utilizados conjuntos de sensores que permitem obter informação, em tempo real, sobre diversas variáveis das culturas, como seja a temperatura do terreno, a sua humidade e composição, ou qual a taxa de incidência da luz solar em pontos específicos das plantas, e medir o seu crescimento. Apesar de, por vezes, esta informação ser analisada *a posteriori*, é relevante investigar de que forma se pode melhorar a visualização deste tipo de informação, em tempo real e no local. Esta análise, no local, tem o potencial de facilitar a identificação de plantas ou locais que necessitem de alguma acção isolada, bem como auxiliar na identificação de factores externos que possam ser relevantes para uma correcta organização das culturas.
- Por último, a visualização em domínios como o da investigação marinha e agricultura, permite explorar visualizações mais próximas da visualização científica, utilizando, por exemplo, a representação de malhas poligonais coloridas, que representem dados extrapolados para um domínio contínuo, como a temperatura do solo ao longo de um terreno. Este tipo de visualização permitiria investigar, na Chameleon, a utilização de novos tipos de objectos de adaptação, diferentes dos utilizados até agora, e a criação dos respectivos métodos de adaptação.

Bibliografia

- Abowd, G., Atkenson, C., Hong, J., Long, S., Kooper, R., Pinkerton, M., 1997. Cyberguide: a Mobile Context-Aware Tour Guide. *In Wireless Networks*, 3 (5), 421-433.
- Adomavicius, G., e Kwon, Y., 2007. New Recommendation Techniques for Multi-Criteria Rating Systems. *In Intelligent Systems, IEEE*, 22 (3), 48-55.
- Adomavicius, G., Mobasher, B., Ricci, F., e Tuzhilin, A., 2011. Context-Aware Recommender Systems. *In AI Magazine*, 32 (3), 67-80.
- Aguiar, H., Carmo, M. B., Pombinho, P., e Afonso, A. P., 2009. Pesquisas Baseadas na Localização e Orientação em Dispositivos Móveis. *In Actas do 17º Encontro Português de Computação Gráfica*, 269-275.
- Albertini, A., Brunelli, R., Stock, O., e Zancanaro, M., 2005. Communicating User's Focus of Attention by Image Processing as Input for a Mobile Museum Guide. *In Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent User Interfaces*, 299-301.
- Bahl, P., e Padmanabhan, V. N., 2000. RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System. *In Proceedings of the IEEE Infocom 2000 – International Conference on Computer Communications*, 2, 775-784.
- Baldauf, M., Dustdar, S., e Rosenberg, F., 2007. A Survey on Context-Aware Systems. *In Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 2 (4), 263-277.
- Barnes, J., Rizos, C., Kanli, M., e Pahwa, A., 2005. A High Accuracy Positioning using Locata's Next Generation Technology. *In Proceedings of the 18th International Technology Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation*. 2049-2056.
- Basili, V. R., 1996. The Role of Experimentation in Software Engineering: Past, Current, and Future, *18th International Conference on Software Engineering*, 464-474.

- Beauregard, S., 2007. Omnidirectional Pedestrian Navigation for First Responders. *In Proceedings of the Workshop on Position, Navigation and Communication (WPNC'07)*, 33-36.
- Beauregard, S., e Haas, H., 2006. Pedestrian Dead Reckoning: A Basis for Personal Positioning. *In Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'06)*, 27-36.
- Bederson, B., e Shneiderman, B., 2003. The Craft of Information Visualization: Readings and Reflections. *Morgan Kaufmann*, ISBN 1-55860-915-6, 2003.
- Bellavista, P., Corradi, A., Fanelli, M., e Foschini, L., 2013. A Survey of Context Data Distribution for Mobile Ubiquitous Systems. *In ACM Computing Surveys*, 44 (4), 24.
- Bertin, J., 1981. Graphics and Graphic Information Processing. *Walter de Gruyter & Co*, ISBN 3-11008-868-1, 1981.
- Bruns, E., Brombach, B., Zeidler, T., e Bimber, O., 2007. Enabling Mobile Phones to Support Large-Scale Museum Guidance. *In IEEE Multimedia*, 14 (2), 16-25.
- Burigat, S. e Chittaro, L., 2005. Visualizing the Results of Interactive Queries for Geographic Data on Mobile Devices. *In Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic Information Systems*, ACM Press, 277-284.
- Burigat, S., e Chittaro, L., 2008. Interactive Visual Analysis of Geographic Data on Mobile Devices Based on Dynamic Queries. *Journal of Visual Languages and Computing*, 19 (1), 99-122.
- Cai, G., e Xue, Y., 2006. Activity-Oriented Context-Aware Adaptation Assisting Mobile Geo-Spatial Activities. *In Proceedings of the 11th IUI – International Conference on Intelligent User Interfaces*, 354-356.
- Card, S., Mackinlay, J., e Shneiderman, B., 1999. Readings in Information Visualization: Using Vision to Think. *Morgan Kaufmann*, ISBN 1-55860-533-9, 1999.
- Carlson, D., e Schrader, A., 2011. A Wide-Area Context-Awareness Approach for Android. *In Proceedings of the 13th International Conference on Information Integration and Web-Based Applications and Services*, 383-386.
- Carmo, M. B., Afonso, A. P., Pombinho, P., e Vaz, A., 2008. MoViSys – A Visualization System for Mobile Devices. *In Proceedings of the VISUAL 2008 – 10th Visual Information Systems International Conference*, LNCS 5188, 167-178.

- Chen, G., e Kotz, D., 2000. A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research. *Technical Report TR2000-381, Department of Computer Science, Dartmouth College*.
- Cheverst, K., Davies, N., Mitchell, K., e Friday, A., 2000. Experiences of Developing and Deploying a Context Aware Tourist Guide: The GUIDE Project. *In Proceedings of the Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), ACM Press*, 20-31.
- Chittaro, L., 2004. HCI Aspects of Mobile Devices and Services. *Personal and Ubiquitous Computing, Springer-Verlag*, 8 (2), 69-70.
- Chittaro, L., 2006. Visualizing Information on Mobile Devices. *Computer IEEE Computer Society Press*, 39 (3), 40-45.
- Comscore, 2015. The Global Mobile Report – ComScore Whitepaper. July 2015. [online] Disponível em <http://www.comscore.com/Insights/Presentations-and-Whitepapers/2015/The-Global-Mobile-Report> [Verificado em Julho 2015].
- Dekel, A., e Schiller, E., 2010. DRec: Exploring Indoor Navigation with an Un-Augmented Smart Phone. *In Proceedings of the MobileHCI 2010, 12th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 393-394.
- Desertot, M., Lecomte, S., Popovici, D., Thiliez, M., e Delot, T., 2010. A Context Aware Framework for Services Management in the Transportation Domain. *In Proceedings of the 10th Annual International Conference on New Technologies of Distributed Systems (NOTERE)*, 157-164.
- Dobre, C., 2011. CAPIM: A Platform for Context-Aware Computing. *In Proceedings of the International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing*, 266-272.
- Edwardes, A., Burghardt, D., e Weibel, R., 2005. Portrayal and Generalization of Point Maps for Mobile Information Services. *In Map-Based Mobile Services Theories, Methods and Implementations*, Springer Berlin Heidelberg, 11-30.
- Egenhofer, M., 1999. Spatial Information Appliances: A Next Generation of Geographic Information Systems. *In 1st Brazilian Workshop on GeoInformatics*.
- Ekahau Wi-Fi Tracking Systems, 2010. [online] Disponível em <http://www.ekahau.com> [verificado em Junho 2015].

- Ericsson Mobility Report – On the Pulse of the Networked Society. June 2013. [online] Disponível em <http://www.ericsson.com/res/docs/2013/ericsson-mobility-report-june-2013.pdf> [verificado em Junho 2015]
- Fahy, P., e Clarke, S., 2004. CASS – Middleware for Mobile Context-Aware Applications. In *MobiSys, Workshop on Context Awareness*.
- Fukuju, Y., Minami, M., Morikawa, H., e Aoyama, T., 2003. DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment. In *Proceedings of the IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems*, 53-56.
- Furnas, G. W., 1986. Generalized Fisheye Views. In *Proceedings of the CHI'86 – Conference on Human Factors in Computing Systems*, 16-23.
- Ghiani, G., Paternó, F., Santoro, C., e Spano, L. D., 2009. A Location-Aware Guide Based on Active RFID's in Multi-Device Environments. In *Computer-Aided Design of User Interfaces VI, Springer London*, 59-70.
- Glanzer, G., Bernoulli, T., Wiessflecker, T., e Walder, U., 2009. Semi-Autonomous Indoor Positioning Using MEMS-based Inertial Measurement Units and Building Information. In *Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'09)*, 135-139.
- Google Latitude, 2013. [online] Disponível em <http://www.google.com/latitude/> [descontinuado em 9 Agosto 2013].
- Google Play, 2015. [online] Disponível em <https://play.google.com/store?hl=en> [verificado em Junho 2015]
- Google Sky Maps, 2015. [online] Disponível em <http://www.google.com/mobile/skymap/> [verificado em Junho 2015]
- Han, L., Jyri, S., Ma, J., e Yu, K., 2008. Research on Context-Aware Mobile Computing. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 24-30.
- Hannuksela, J., Sangi, P., e Heikkilä, J., 2007. Vision-Based Motion Estimation for Interaction with Mobile Devices. In *Computer Vision and Image Understanding*, 108 (1-2), 188-195.
- Haro, A., Mori, K., Capin, T., e Wilkinson, S., 2005. Mobile Camera-Based User Interaction. In *Proceedings of the IEEE ICCV 2005 – International Conference on Computer Vision, Workshop on Human Computer Interaction*, 79-89.

- Hazas, M., e Hopper, A., 2006. A Novel Broadband Ultrasonic Location System for Improved Indoor Positioning. *In IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5 (5), 536-547.
- Hiyama, A., Yamashita, J., Kuzuoka, H., Hirota, K., Hirose, M., 2005. Position Tracking Using Infra-Red Signals for Museum Guiding System. *In Proceedings of the Ubiquitous Computing Systems, 2nd International Symposium*, 49-61.
- Hofer, T., Schwinger, W., Pichler, M., Leonhartsberger, G., Altmann, J., e Retschitzegger, W., 2002. Context-Awareness on Mobile Devices – The Hydrogen Approach. *In Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 292-302.
- Holtzblatt, K., 2005. Designing for the Mobile Device: Experiences, Challenges, and Methods. *Communications of the ACM*, 48 (7), 33-35.
- Huang, H., e Gartner, G., 2009. Using Activity Theory to Identify Relevant Context Parameters. *Location Based Services and TeleCartography II, From Sensor Fusion to Context Models*, Springer-Verlag, 35-45.
- IBM - "Bellsouth, IBM Unveil Personal Communicator Phone", 1993. *Mobile Phone News*. November 8, 1993. ISSN 0737-5077
- Ikeda, T., Inoue, Y., Sashima, A., Yamamoto, K., Yamashita, T., Kurumatani, K., 2008. ComPass System: An Low Power Wireless Sensor Network System and its Application to Indoor Positioning. *In Proceedings of the 5th international conference on Soft computing as transdisciplinary science and technology - CSTST 2008*, 656-662.
- ISOC, 2015. Internet Society – Global Internet Report 2015 – Mobile Evolution and Development of the Internet. [online] Disponível em <http://www.internetsociety.org/globalinternetreport/> [Verificado em Julho 2015].
- ITU ICT Facts and Figures – The World in 2015. 201. [online] Disponível em <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> [Verificado em Junho 2015].
- Jannach, D., Karakaya, Z., e Gedikli, F., 2012. Accuracy Improvements for Multi-Criteria Recommender Systems. *In Proceeding of the EC'12 – ACM Conference on Electronic Commerce*, 674-689.
- Jensen, B., Kruse, R., e Wendholt, B., 2009. Application of Indoor Navigation Technologies under Practical Conditions. *In Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'09)*, 267-273.

- Jiménez, A. R., Seco, F., Prieto, J. C., e Guevara, J., 2010. Indoor Pedestrian Navigation Using an INS/EKF Framework for Yaw Drift Reduction and a Foot-Mounted IMU. *In Proceedings of the 7th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'10)*, 135-143.
- Kalkusch, M., Lidy, T., Knapp, M., Reitmayr, G., Kaufmann, H., e Schmalstieg, D., 2002. Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding. *In Proceedings of the 1st IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*.
- Karpischek, S., Marforio, C., Godenzi, M., Heuel, S., e Michahelles, F., 2009. SwissPeaks – Mobile Augmented Reality to Identify Mountains. *In Proceedings of the ISMAR'09 - International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Let's Go Out: Workshop on Outdoor Mixed and Augmented Reality*.
- Keim, D. A., e Kriegel, H. -P., 1994. VisDB: Database Exploration Using Multidimensional Visualization. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 14 (5), 40-49.
- Kitasuka, T., Nakanishi, T., e Fukuda, A., 2003. Wireless LAN Based Indoor Positioning System WiPS and its Simulation. *In Proceedings of the IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing - PACRIM'03*, 272-275.
- Köhler, M., Patel, S., Summet, J., Stuntebeck, E., Abowd, G., 2007. Tracksense – Infrastructure Free Precise Indoor Positioning Using Projected Patterns. *In A. LaMarca et al. (Eds): Pervasive 2007, LNCS 4480, Springer-Verlag*, 334-350.
- Kourogi, M., Ishikawa, T., Kameda, Y., Ishikawa, J., Aoki, K., e Kurata, T., 2009. Pedestrian Dead Reckoning and its Applications. *In Proceedings of the ISMAR'09 - International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Let's Go Out: Workshop on Outdoor Mixed and Augmented Reality*.
- Krautschneider, R., 2006. Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des Messsystems Indoor GPS. *Diploma Thesis at the University of Applied Sciences of Karlsruhe*.
- Ladstätter, S., Luley, P., Almer, A., e Palleta, L., 2010. Multisensor Data Fusion for High Accuracy Positioning on Mobile Devices. *In Proceedings of the 2010 Mobile HCI, 12th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 395-396.
- Lakiotaki, K., Matsatsinis, N., e Tsoukiàs, A., 2011. Multi-Criteria User Modeling in Recommender Systems. *In Intelligent Systems, IEEE*, 26 (2), 64-76.
- Layar: Augmented Reality Browser, 2010. [online] Disponível em: <http://layar.com> [verificado em Junho 2015].

- Lee, B., Isenberg, P., Richie, N. H., e Carpendale, S., 2012. Beyond Mouse and Keyboard: Expanding Design Considerations for Information Visualization Interactions. *In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18 (12), 2689-2698.
- Lego Compass. 2009. [online] Disponível em <http://shop.lego.com/en-US/Compass-Sensor-for-MINDSTORMS-NXT-10285> [verificado em Junho 2015].
- Lim, A., e Zhang, K., 2006. A Robust RFID-Based Method for Precise Indoor Positioning. *In M. Ali and R. Dapoigny (Eds.): LNAI 4031, Springer-Verlag*, 1189-1199.
- Manzoor, A., Truongm H.-L. e Dustdar, S., 2008. On the Evaluation of Quality of Context. *In Proceedings of the 3rd European Conference on Smart Sensing and Context*, 140-153.
- Mautz, R., 2009. The Challenges of Indoor Environments and Specification on Some Alternative Positioning Systems. *In Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'09)*, 29-36.
- McCormick, B., DeFanti, T., e Brown, M., 1987. Visualization in Scientific Computing. *In ACM SIGGRAPH – Special Interest group on Computer GRAPHics and Interactive Techniques, Computer Graphics*, 21 (6).
- Nalepa G., e Bobek, S., 2014. Rule-Based Solution for Context-Aware Reasoning on Mobile Devices. *In Computer Science and Information Systems*, 11(1), 171-193.
- Nike + iPod – Meet Your New Personal Trainer, 2015. [online] Disponível em <http://www.apple.com/ipod/nike/> [verificado em Junho 2015].
- Nivala, A. –M., e Sarjakoski, L. T., 2003. Need for Context-Aware Topographic Maps in Mobile Devices. *In Proceedings of the ScanGis'2003 - The 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science*, 15-29.
- Nivala, A. –M., e Sarjakoski, L. T., 2007. User Aspects of Adaptive Visualization for Mobile Maps. *Cartography and Geographic Information Science, Towards Ubiquitous Cartography*, 34 (4), 275-284.
- NXT –Intelligent Brick, Lego Mindostorms. 2009. [online] Disponível em <http://shop.lego.com/en-US/NXT-Intelligent-Brick-9841> [verificado em Junho 2015]
- Pahlavan, K., Li, X., e Makela, J-P., 2002. Indoor Geolocation Science and Technology. *In IEEE Communications Magazine*, 40 (2), 112-118.

- Panagiotakopoulos, T. C., e Lymberopoulos, D. K., 2008. Monitoring of Patients Suffering from Special Phobias Exploiting Context and Profile Information. *In Proceedings of the 8th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering – BIBE 2008*, 1-6.
- Papakonstantinou, S., e Brujic-Okretic, V., 2009. Prototyping a Context-Aware Framework for Pervasive Entertainment Applications. *In Proceedings of the 2009 Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, 84-91.
- Pombinho, P., 2008. Visualização de Informação Geo-Referenciada em Dispositivos Móveis. *Tese de Mestrado em Informática, Departamento de Informática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*.
- Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2009a. Contextos e Visualização Adaptativa em Ambientes Móveis. *In Actas do 1º INForum – Simpósio de Informática*.
- Pombinho, P., Carmo, M. B., e Afonso, A. P., 2009b. Evaluation of Overcluttering Prevention Techniques for Mobile Devices. *In Proceedings of the Information Visualization, IV 2009*, 127-134.
- Pombinho, P., Carmo, M. B., Afonso, A. P., e Aguiar, H., 2010a. Location and Orientation Based Queries on Mobile Environments. *In Proceedings of the Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2010 International Conference*, 209-218.
Este artigo foi seleccionado para publicação numa edição especial do International Journal of Computer Systems and Industrial Management Applications, (3), 788-795.
- Pombinho, P., Carmo, M. B., Afonso, A. P., e Aguiar, H., 2010b. Location and Orientation Based Point of Interest Search Interface. *In Proceedings of the MobileHCI 2010, the 12th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 375-376.
- Pombinho, P., 2010c. Information Visualization on Mobile Environments. *In Proceedings of the MobileHCI 2010, the 12th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services – Doctoral Consortium*, 493-494.
- Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2010d. Indoor Positioning Using a Mobile Phone with an Integrated Accelerometer and Digital Compass. *In Actas do 2º INForum – Simpósio de Informática*, 443-446.
- Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2011a. Point of Interest Awareness Using Indoor Positioning with a Mobile Phone. *In Proceedings of the PECCS 2011 – International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems*, 5-14.

- Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2011b. Chameleon – A Context Adaptive Visualization Framework for a Mobile Environment. *Information Visualization IV'2011 Conference*, 151-157.
- Pombinho, P., Carmo, M. B., e Afonso, A. P., 2012a. Context Aware Point of Interest Adaptive Recommendation. *In Proceedings of the Context-Awareness in Retrieval and Recommendation Workshop, in conjunction with IUI 2012 – International Conference on Intelligent User Interfaces*, 30-33.
- Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2012b. Mixed Environment Adaptive System for Point of Interest Awareness. *In Proceedings of the Location Awareness for Mixed and Dual Reality Workshop, in conjunction with IUI 2012 – International Conference on Intelligent User Interfaces*.
- Pombinho, P., Afonso, A. P., e Carmo, M. B., 2013. Understanding the Role of Historical Context in a Point of Interest Recommendation System. *International Conference on Information Visualization Theory and Applications, IVAPP 2013*, 537-541.
- Pombinho, P., Carmo, M. B., e Afonso, A. P., 2015. Adaptive Mobile Visualization – The Chameleon Framework, *In Computer Science and Information Systems*, 12 (2), 445-464.
- Predic, B., Stojanovic, D., e Djordjevic-Kajan, S., 2006. Developing Context-Aware Support in Mobile GIS Framework. *In Proceedings of the 9th AGILE Conference on Geographic Information Science*, 90-97.
- Prekop, P., e Burnett, M., 2003. Context and Ubiquitous Computing. *Special Issue on Ubiquitous Computing Computer Communications*, 26 (11), 1168-1176.
- Priyantha, N. B., 2006. The Cricket Indoor Location System. *Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology*.
- Randell, C., Djalllis, C., e Muller, H., 2003. Personal Position Measurement Using Dead Reckoning. *In Proceedings of the 16th International Symposium on Wearable Computers*, 166.
- Reichenbacher, T., 2001. Adaptive Concepts for a Mobile Cartography. *In Journal of Geographical Sciences*, 11, 43-53.
- Reichenbacher, T., 2004. Mobile Cartography – Adaptive Visualization of Geographic Information on Mobile Devices. *PhD Thesis. Verlag Dr. Hut, München*.

- Reichenbacher, T., 2008. Mobile Usage and Adaptive Visualization. *In Encyclopedia of GIS. Part 16. Heidelberg: Springer Verlag*, 677-682.
- Robertson, G., Mackinlay, J., e Card., S. 1991. Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information. *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 189-194.
- Rohs, M., Schöning, J., Raubal, M., Essl, G., e Krüger, A., 2007. Map Navigation with Mobile Devices: Virtual versus Physical Movement with and without Visual Context. *In Proceedings of the 9th ICMI – International Conference on Multimodal Interaction*, 146-153.
- Schilit, B., Adams, N., e Want, R., 1994. Context-Aware Computing Applications. *In Proceedings of the IEEE WMCSSA – Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 85-90.
- Schroeder, W., Martin, K., e Lorensen, B., 2006. The Visualization Toolkit. *Kitware Inc; 4th edition*.
- Schwinger, W., Grün, Ch., Pröll, B., e Retschitzegger, W., 2008. Context-Awareness in Mobile Tourism Guides. *Handbook of Research in Mobile Multimedia, 2nd Edition, Khalil-Ibrahim Ismail (ed.), IGI Global, USA*.
- Serra, A., Carboni, D., e Marotto, V., 2010. Indoor Pedestrian Navigation System Using a Modern Smartphone. *In Proceedings of the MobileHCI 2010 - 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 397-398.
- Silva, P., Pombinho, P., Afonso, A. P., e Gonçalves, T., 2011. RUBI: An Open Source Android Platform for Mobile Augmented Reality Applications. *Workshop on Mobile Augmented Reality: Design Issues and Opportunities, MobileHCI 2011, the 13th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*.
- Simon, R., Fröhlich, P., Obernberger, G., e Wittowetz, E., 2007. The Point to Discover Geowand. *In Proceedings of the 9th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp07)*, 3-10.
- Spence, R., 2007. Information Visualization: Design for Interaction. *Pearson, 2nd edition*.
- Stoffel, E-P., Schoder, K., e Ohlbach, H. J., 2008. Applying Hierarchical Graphs to Pedestrian Indoor Navigation. *In Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems GIS'06*, 54.

- Telea, A., 2014. Data Visualization. Principles and Practice. *AK Peters / CRC Press*, 2nd edition.
- TomTom HD Traffic, 2015. [online] Disponível em <http://www.tomtom.com> [verificado em Junho 2015].
- Tonder, B. v., e Wesson, J., 2008. Using Adaptive Interfaces to Improve Mobile Map-Based Visualization. In *Proceedings of the 2008 Annual Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists*, 257-266.
- Wasinger, R., Stahl, C., e Krüger, A., 2003. M3i in a Pedestrian Navigation & Exploration System. In *Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services 2003*, Springer Berlin Heidelberg, 481-485.
- Whitley, D., 2008. Cave Paintings and the Human Spirit: The Origin of Creativity and Belief. *Prometheus Books*, ISBN 978-1-59102-656-5, 2008.
- Wikitude World Browser, 2010. [online] Disponível em <http://www.wikitude.org/> [verificado em Junho 2015].
- Wolpin, S., 2014. Commercial GPS Turns 25: How the Unwanted Military Tech Found its True Calling. Maio 2014 [online] Disponível em <http://mashable.com/2014/05/25/commercial-gps-25-anniversary/> [verificado em Junho 2015]
- Xu, H., Huang, L., Xu, T., Huo, Y., Wang, Y., 2009. Practical Indoor Tracking Using Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'09)*, 209-215.
- Yuan, W., e Schneider, M., 2010. iNav: An Indoor Navigation Model Supporting Length-Dependent Optimal Routing. In *Geospatial Thinking Springer Berlin Heidelberg*, 299-313.
- Zelkowitz M.V. e Wallace D.R., 1998. Experimental Models for Validating Technology, *IEEE Computer*, 31 (5), 23-31.